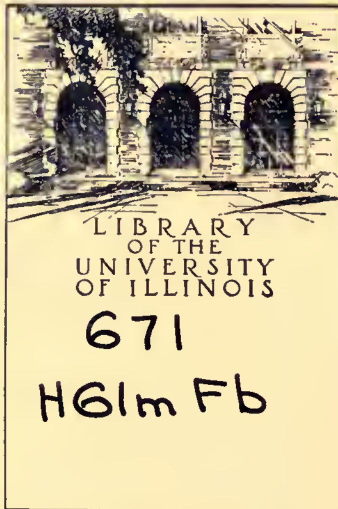


[redacted]

LES

ALLIAGES

MÉTALLIQUES

PAR

Arthur H. HIORNS

TRADUCTION AUGMENTÉE D'UN APPENDICE

PAR

O. BOUDOUARD

PRÉPARATEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

PRÉFACE DE H. LE CHATELIER, Ingénieur en chef des Mines

PARIS

G. STEINHEIL, ÉDITEUR

2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

—

1900

LES

ALLIAGES MÉTALLIQUES

LES
ALLIAGES
MÉTALLIQUES

PAR

Arthur H. HIORNS

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE DE MÉTALLURGIE DE "BIRMINGHAM AND MIDLAND INSTITUTE"

TRADUCTION AUGMENTÉE D'UN APPENDICE

PAR

O. BOUDOUARD

PRÉPARATEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

PRÉFACE DE **H. LE CHATELIER**, Ingénieur en chef des Mines

PARIS

G. STEINHEIL, ÉDITEUR

2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1900



PRÉFACE

Les alliages ont été connus dès la plus haute antiquité ; la Bible, l'Iliade en font mention. Ils ont été obtenus d'abord par le traitement direct des minerais métalliques généralement associés dans leurs gisements. Les mélanges naturels de pyrite cuivreuse avec la galène plombifère ont donné aux anciens Egyptiens, aux Grecs, aux Chinois, les alliages cuivre-plomb, souvent confondus avec le cuivre pur ; les mêmes alliages sont aujourd'hui préparés dans les mêmes conditions par les nègres du Congo.

Peu à peu la distinction se fit entre les alliages et les métaux simples ; les alliages purent être préparés à volonté avec une composition déterminée par la réunion de leurs constituants. Un fait capital frappa nécessairement les premiers observateurs : la différence considérable existant souvent entre les propriétés d'un alliage et celles des métaux qui le composent ; l'absence de proportionnalité entre les changements de la qualité d'un métal et la petite quantité de certaines substances étrangères ajoutées. Le bronze, le laiton ont une dureté, une couleur qui ne rappellent aucunement celles de leurs éléments. Les plus faibles proportions d'arsenic, de mercure ajoutées au cuivre suffisent pour le rendre cassant et pour le blanchir. Ces deux faits expliquent l'importance si grande prise par les alliages et la somme énorme d'efforts consacrés à leur étude.

Les armes, les outils, tous les ustensiles nécessaires à la vie exigent, suivant leur emploi, des qualités différentes ;

pour les obtenir, les combinaisons en nombre illimité des métaux entre eux ont fourni la matière première nécessaire. Mais il a fallu un labeur infatigable, prolongé pendant des siècles, pour préciser les formules de traitement donnant, avec l'infinie variété des minerais, un résultat toujours semblable à lui-même.

Pendant que les artisans se livraient à ce travail, les savants dans leurs officines, les alchimistes recherchaient les causes des propriétés si variables des métaux. Frappés de l'influence énorme d'impuretés en proportions minimes, ils assimilèrent ces transformations des métaux aux opérations de la teinture, cherchant à transmuter les propriétés d'un métal sur un autre, à faire de l'or artificiel, comme on peut transporter une couleur prise à une plante sur la fibre incolore d'une autre plante. Ces travaux incessants ne furent pas perdus ; nous leur devons la science chimique et la métallurgie.

Ce passé qui nous semble bien vieux aujourd'hui n'est pas aussi éloigné qu'on pourrait le croire. Si le XIXe siècle a été le témoin d'un essor inouï de l'industrie, il ne faut pas cependant méconnaître les résultats considérables obtenus avant lui. Depuis longtemps déjà le bronze, le laiton, l'acier, la fonte étaient connus et habilement employés. En dehors de l'industrie du fer, on en est encore sur bien des points aux vieilles recettes empiriques se transmettant dans les usines comme un secret précieux, qui une fois perdu ne saurait être retrouvé ; les profanes ne sont pas admis à en prendre connaissance. Aussi est-il fort difficile de faire un bon traité des alliages. Les méthodes scientifiques de l'industrie moderne n'y sont d'aucun usage ; la tradition est jalousement gardée par ses dépositaires. La plupart des ouvrages semblables sont des compilations sans intérêt où le vrai et le

faux se coudoient, le faux souvent plus abondant que le vrai. Une place prépondérante y est occupée par des analyses détaillées de quelques mémoires scientifiques, célèbres par le nom de leur auteur, mais trop souvent dépourvus d'intérêt pratique.

Le traité de M. Hiorns mérite une place à part, en raison de l'expérience personnelle de son auteur. Vivant et travaillant à Birmingham dans un des principaux centres de la fabrication des alliages il a pu, tant par sa fréquentation des usines que par ses recherches de laboratoire, s'initier à bien des secrets d'une industrie restée jusqu'ici un peu mystérieuse. La précision des détails, la variété des formules contenues dans son ouvrage inspirent à première vue une confiance dont nous avons pu contrôler le bien fondé sur différents points qui nous étaient plus particulièrement connus. Ce n'est certainement pas un ouvrage bien rédigé ; il manque d'ordre, il est surchargé de répétitions et pourtant la lecture en est attrayante. Il a une certaine saveur de vieux bouquin ; on y trouve des collections de recettes sentant leur alchimie, qui font bien comprendre ce qu'a été cette industrie des alliages et comment elle s'est développée. Les redites, généralement si fastidieuses, se font accepter parce que chacune d'elles correspond en réalité à un fait distinct. C'est le résultat d'une visite d'usine, c'est la lecture d'un mémoire qui ont en quelque sorte été photographiés au passage. Et chaque répétition nouvelle d'une formule est, par l'accord d'un plus grand nombre de témoignages, une preuve de plus de son exactitude. Ce livre clôt une longue période de tâtonnements empiriques ; il en fait connaître les résultats avec toute la précision que comporte le sujet.

Si c'est l'ouvrage du passé, est-ce aussi celui de l'avenir ? Certainement non. M. Hiorns dans la préface de l'édition

anglaise, le déclare en toute sincérité et en toute vérité : l'ouvrage, dit-il, n'est pas adéquat à l'importance du sujet traité. Il lui manque une base scientifique ; l'auteur l'a bien compris et sur ce point son livre présente des contradictions qui vont nous permettre de préciser les lacunes à remplir.

Le volume débute par un résumé très bien fait des lois générales de la chimie et des propriétés chimiques des métaux, mais dans la suite du volume il n'est tiré aucun parti de ce préambule qui reste un hors-d'œuvre inutile. Plus loin on trouve une classification des alliages basée sur les recherches de Matthiessen et donnant une prépondérance marquée au rôle des combinaisons définies dans les alliages, ce qui est parfaitement juste. Quelques pages plus loin il est dit, ce qui est non moins exact, que le fabricant d'alliages commettrait une erreur profonde en se préoccupant dans l'association des métaux des rapports de leurs poids équivalents. La raison de ces contradictions est que l'étude scientifique des alliages n'est pas assez avancée pour établir les liaisons multiples qui rattachent nécessairement la théorie à la pratique. A quoi cela tient-il ?

Si l'on passe en revue les principales étapes de la chimie appliquée, on voit au point de départ de chacune de ces étapes, une méthode spéciale d'analyse immédiate permettant d'isoler les différents principes définis des mélanges indéfinis où ils sont engagés ; tant que cette séparation n'est pas faite il n'y a pas d'étude scientifique possible. La balance a permis l'extraction des corps simples de leurs composés et donné naissance à la chimie moderne. Les phénomènes de dissolution ont servi à isoler les sels dont l'étude a constitué à elle seule presque toute la chimie pendant la première moitié de ce siècle. La distillation fractionnée a donné naissance à la chimie organique qui, à son tour, est venue envahir

toute la science pendant ces vingt-cinq dernières années. La séparation optique des cristaux a créé la pétrographie, qui a complètement renouvelé les sciences géologiques. La séparation des principes immédiats des alliages est aujourd'hui possible, mais depuis un très petit nombre d'années seulement, par les méthodes de la métallographie microscopique dues au professeur Sorby de Sheffield et à un ingénieur français, M. Osmond. Les recherches sur les alliages ont subitement pris un essor imprévu ; deux puissantes sociétés industrielles, la Société des ingénieurs mécaniciens de Londres et la Société d'encouragement de Paris se sont mises à la tête de ce mouvement en subventionnant largement les études faites. Mais ce mouvement ne date que de cinq ans, il est postérieur à la publication de l'ouvrage de M. Hiorns. Un résumé sommaire de ces travaux récents est donné par M. Boudouard dans un appendice placé à la fin du volume.

Etait-il bien opportun alors de publier la traduction d'un ouvrage qui est appelé à être remplacé un jour par des traités composés sur des bases toutes différentes ? Si ces traités devaient paraître demain, une semblable publication aurait été inutile. Mais en s'instruisant de l'expérience du passé et calculant le temps qu'une science nouvelle met à s'établir sur des bases définitives, on trouve environ un quart de siècle. Cela a été le cas de la chimie pondérale sortie des travaux de Lavoisier, de la chimie organique sortie des travaux de Gehrardt, de la mécanique chimique sortie des travaux de Ste-Claire Deville, de la pétrographie sortie des travaux de Sorby et de des Cloizeaux. Sur les alliages il n'a paru encore que des mémoires isolés et assez décousus ; les premiers ouvrages d'ensemble qui paraîtront sur la matière seront nécessairement des ouvrages exclusivement scientifiques et dépourvus d'intérêt pratique ; il faudra ensuite un temps assez

long pour réaliser la pénétration mutuelle et la coordination des données scientifiques avec la pratique industrielle. Pendant toute cette élaboration, l'ouvrage de M. Hiorns restera un guide précieux pour les industriels ; il sera indispensable aux travailleurs qui se préoccuperont des applications pratiques de la science.

Qu'il me soit permis en terminant cette préface d'exprimer un regret. Si un homme de laboratoire et un homme du métier avaient pu collaborer à cette traduction, cela en aurait facilité la lecture aux principaux intéressés, ou tout au moins la leur aurait rendue plus agréable en évitant la nécessité d'un erratum placé à la fin du volume.

La transformation des mesures anglaises en mesures françaises a été faite avec beaucoup de soin par M. Henri Vallot, ingénieur. Le lecteur lui en sera reconnaissant.

H. LE CHATELIER,

Ingénieur en chef des Mines.

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION.

§ 1. — Depuis longtemps on sait que les métaux peuvent s'unir les uns avec les autres pour donner des corps ayant plus ou moins les propriétés de leurs constituants, et probablement cette connaissance a été mise à profit depuis la plus haute antiquité. Les anciens connaissaient sept métaux : l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, le fer, l'étain et le plomb. Ils employaient de plus des composés différents d'antimoine, d'arsenic et de zinc, et cependant, il n'est nullement évident pour nous que ces métaux leur étaient connus à l'état métallique.

L'or et l'argent, qui existent dans la nature à l'état métallique, furent probablement les premiers métaux connus ; lorsque les autres plus communs furent découverts, ils les allièrent à l'or, à cause de la rareté de ce dernier.

Le cuivre se trouve quelquefois à l'état natif, et tous ceux qui sont habitués à travailler les métaux précieux savent qu'il n'y a aucune difficulté à fondre le cuivre et à l'allier à l'or et à l'argent.

Le mot latin *æs* dans les écrits anciens signifie tantôt cuivre, tantôt laiton, de sorte que les deux métaux furent souvent confondus ensemble. Pline dit « qu'un minerai de *æs*, appelé *chalcitis*, fut trouvé à Chypre, où l'on découvrit d'abord l'*æs* ». Ici, *æs* signifie certainement cuivre. Autre part, il dit que l'*æs* est extrait d'un minéral appelé *cadmia*. Actuellement

ce minerai est connu sous le nom de calamine (carbonate de zinc). Cette substance, mélangée avec du charbon de bois et chauffée fortement dans un creuset fermé, donne un laiton si l'on y ajoute soit du cuivre métallique, soit de l'oxyde de cuivre. Le nom spécial donné à ce laiton fut *aurichalcum*, ou cuivre doré ; on peut en conclure que souvent les minerais de cuivre et de zinc furent fondus ensemble pour former des laitons, le zinc à l'état libre ayant été probablement inconnu jusqu'au sixième siècle. Pline décrit quatre variétés différentes de ce qui fut appelé *cuivre de Corinthe.*

1° Blanc, ressemblant à l'argent et contenant un excès de ce métal.

2° Rouge, contenant un excès d'or.

3° Dans cette espèce, l'or, l'argent et le cuivre sont mélangés en quantités égales.

4° Cette variété était appelée *hepatizon* ; sa couleur rougeâtre en faisait toute la valeur.

Le cuivre fut employé par les Anciens à tous les usages pour lesquels il est recherché aujourd'hui. Les alliages de cuivre et d'étain étaient faits en proportions variables ; ainsi le bronze des statues était formé de 100 parties de cuivre et 12, 5 d'étain. Un autre alliage contenait 100 de cuivre, 10 de plomb et 5 d'étain. Les ustensiles de ménage étaient faits avec un alliage de 100 de cuivre et 3 à 4 d'étain. Les armes des Anciens étaient souvent faites en bronze, qui était durci par la chaleur et par un lent refroidissement.

L'étain était d'un usage courant du temps de Moïse. Ce furent sans doute les Phéniciens qui en procurèrent aux Égyptiens, ce métal provenant des îles Sorlingues ou de la Cornouaille. L'étain est mentionné par Homère. Au temps de Pline, il fut employé pour recouvrir les ustensiles en cuivre ou en laiton.

Le mercure fut employé par les Romains qui fabriquèrent des amalgames d'or et d'argent employés par la dorure et l'argenture : on appliquait l'amalgame sur l'objet, on volatilisait le mercure par la chaleur et on laissait ainsi une couche mince du métal précieux sur l'objet.

Le plomb était connu des anciens Égyptiens et des Romains qui l'appelaient *plumbum nigrum*. L'Espagne et l'Angleterre en fournirent de grandes quantités. Le plomb en feuilles et en tuyaux était employé déjà aux mêmes usages qu'aujourd'hui ; un alliage de plomb et d'étain servait comme soudure.

Le fer fut obtenu de très bonne heure, mais en quantité relativement petite ; on l'extrayait des pierres météoriques ou d'oxydes difficilement réductibles. Moïse parle du fer comme étant employé à la construction des sabres, couteaux, haches, etc., ce qui semble indiquer que l'acier était déjà connu. Homère représente les guerriers armés avec des épées de bronze, jamais avec des armes en acier. Achille propose une balle de fer comme prix de valeur, pour être décernée dans les jeux, ce qui montre sa rareté à cette époque. Il est évident que les Romains connaissaient l'acier, ainsi que les moyens permettant de le durcir et de le tremper. L'acier était très probablement extrait directement du minerai de fer ; il peut être considéré comme un alliage de fer et de carbone, dans lequel le manganèse se rencontre quelquefois en petite quantité.

Ainsi les Anciens connaissaient les six métaux malléables et leurs alliages, mais ils nous ont laissé peu de renseignements sur les méthodes d'extraction. Il est probable que ces opérations industrielles étaient aussi simples que possible, à moins que les connaissances chimiques d'alors n'aient été plus avancées que nous ne le supposons.

Au XVIII[e] siècle, la recherche de la nature des alliages

fut l'objet d'études scientifiques systématiques. Ainsi Réaumur, un chimiste français infatigable, conclut que l'acier était du fer imprégné de soufre et de matières salines ; le mot soufre était synonyme du mot combustible. A la fin du siècle, Berthollet conclut de ses propres expériences et de celles de Réaumur que l'acier était un composé de fer et de carbone ; Réaumur expliqua alors le principe de la méthode de l'étamage des plaques en fer. Gellert, dans sa *Chimie métallurgique*, montre l'analogie entre les alliages et les solutions ; il donne une table indiquant les solubilités relatives des métaux l'un dans l'autre, par exemple du cuivre dans l'argent. Il montra clairement qu'avec cette conception, il comprenait la possibilité pour un métal de se partager entre deux autres métaux pris comme solvants. Musschenbrock, au commencement du siècle, fit quelques expériences sur la résistance à la traction des métaux et des alliages ; il publia un mémoire sur « la cohésion avec laquelle un corps résiste à la rupture s'il est soumis à une force suivant sa longueur ». Duhamel en 1792 indique la nécessité de faire des expériences exactes sur les alliages préparés avec des métaux très purs dans des vases fermés.

Dans la première partie du XIXe siècle, les recherches sur les alliages furent plus nombreuses, et l'intérêt qu'elles offrent, n'a fait qu'augmenter de plus en plus jusqu'à l'époque actuelle.

Nature des métaux.

§ 2. — Le terme *métal* désigne un certain nombre d'éléments chimiques ayant des caractères communs bien définis, tels que l'éclat métallique, la conductibilité, une grande densité. Lorsqu'ils sont préparés électrolytiquement, ils apparaissent au pôle négatif : ce sont donc des corps électroposi-

tifs. Ces propriétés ne sont point également développées dans tous les cas; quelquefois un ou plusieurs de ces caractères peuvent être absents. D'autre part, il existe des substances non métalliques dans lesquelles on peut retrouver les propriétés des métaux. Ainsi le graphite a un éclat métallique, le charbon et le silicium sont conducteurs de la chaleur et de l'électricité, les métaux alcalins sont plus légers que l'eau. En fait, il y a des éléments ayant des caractères très marqués qui les font classer sans hésitation dans les métaux ; d'autres, au contraire, tels que l'arsenic, ont des propriétés métalliques ou non, suivant le point de vue auquel on se place. Ces corps servent d'intermédiaires entre les métaux et les métalloïdes, de telle façon qu'il est impossible de fixer une ligne de démarcation bien nette.

L'influence de la chaleur sur les métaux est très variable : quelques-uns fondent à une basse température, d'autres exigent la température du rouge sombre, du rouge blanc, ou même du blanc. Le tableau suivant donné par Pouillet indique les températures correspondant aux différents aspects :

Rouge naissant correspondant à. .		525°C.	977°F.
Rouge sombre	—	700	1.292
Rouge cerise naissant	—	800	1.472
— cerise	—	900	1.652
— cerise clair	—	1.000	1.832
Orange sombre	—	1.100	2.012
— clair	—	1.200	2.192
Blanc	—	1.300	2.372
— éclatant	—	1.400	2.552
— soudant	—	1.500	2.732

Les métaux se dilatent par la chaleur et se contractent par le refroidissement, et entre certaines limites, la dilatation est proportionnelle à l'accroissement de température. Il existe

cependant certaines anomalies : la fonte se dilate au moment de sa solidification, et le bismuth solide occupe un volume plus grand que le bismuth liquide. Un des caractères distinctifs d'un métal est la mobilité interne qui lui permet d'être modifié dans son état, sous l'influence de la pression, sans rupture de la masse. Cette propriété est variable suivant les métaux, de telle sorte que la *malléabilité*, ou propriété de se laisser réduire en feuilles minces sans se déchirer, et la *ductilité*, ou propriété de se laisser étirer en fils sous l'influence d'une tension longitudinale combinée à une pression latérale, ne sont pas les mêmes pour les différents métaux. L'ordre relatif dans lequel ils se rangent n'est pas le même pour la malléabilité et la ductilité, l'une dépendant de la douceur et de la ténacité, l'autre dépendant beaucoup plus de la ténacité. Par *ténacité*, on désigne la résistance qu'offre un corps si on le soumet à une force de tension pour séparer ses particules. La ténacité est généralement diminuée par une élévation de température, l'inverse ayant souvent lieu avec la malléabilité et la ductilité. Quelques métaux ont une faible ténacité ; ils sont dits *secs*. D'autres, au contraire, résistent à la rupture sous l'effet d'une force de cintrage ou de torsion. L'*élasticité* est une propriété des corps, par laquelle ils reviennent à leur forme première si on les en écarte. Pour chacun d'eux, il y a une limite au delà de laquelle ils ne reviennent pas à leur état initial : c'est ce qu'on appelle *la limite de parfaite élasticité*. La *dureté*, mesurée par la résistance à la compression, est, comme toutes les autres propriétés physiques d'un métal, modifiée par la présence d'impuretés, de telle sorte que, dans beaucoup de cas, la douceur est une preuve de pureté. Tous les métaux malléables deviennent durs par l'effet de la pression, et souvent nécessitent un recuit durant la fabrication. Si l'on casse un métal, la

surface qu'il présente est souvent caractéristique : elle peut être fibreuse, cristallisée, granulée, bacillaire ou conchoïdale ; ainsi le fer forgé est fibreux, le zinc est cristallin, l'acier est granuleux, l'étain est bacillaire et l'acier dur est conchoïdal. La structure cristalline est souvent accompagnée d'aigreur, et la structure fibreuse d'une grande ténacité. La plupart des métaux sont plus lourds que l'eau, et le rapport qui exprime combien de fois un corps est plus lourd que l'eau s'appelle son *poids spécifique*. La *chaleur spécifique* varie beaucoup suivant les métaux : celle du fer, par exemple, est le 1/10 de celle de l'eau, tandis que celle du plomb n'en atteint pas le 1/30. Les oxydes des métaux sont ordinairement basiques ; mais cette propriété est relative : un oxyde basique dans un composé peut devenir acide s'il est en présence d'une base plus forte.

Classification des métaux.

§ **3**. — Pour en faciliter l'étude, les métaux peuvent être classés en groupes suivant leurs caractères généraux, principalement en se basant sur leur action sur l'oxygène.

1. — *Métaux nobles*. — Or, platine, argent et quelques métaux rares. Les membres de cette classe ont peu ou point d'affinité pour l'oxygène libre ; ils ne décomposent l'eau à aucune température. Par suite de la faible affinité du métal pour l'oxygène, les oxydes sont facilement décomposables par la chaleur.

2. — *Groupe du cuivre*. — Cuivre, mercure, plomb et bismuth. Ils ne décomposent pas l'eau, même au rouge, mais se combinent avec l'oxygène si on les chauffe ; ils forment alors des oxydes d'un caractère basique. C'est le mercure qui a le moins d'affinité pour l'oxygène ; ce caractère le rapproche des métaux nobles.

3. — *Groupe de l'étain.* — Étain, antimoine, arsenic, etc. Ces métaux, excepté l'arsenic, décomposent la vapeur d'eau au rouge, et forment des oxydes acides ; ils se rapprochent donc des métalloïdes. Le protoxyde d'étain est une base forte.

4. — *Groupe du fer.* — Fer, chrome, manganèse, nickel et cobalt. Les membres de ce groupe décomposent la vapeur d'eau au rouge ; les protoxydes sont des bases puissantes. Quelques-uns des oxydes supérieurs du fer, du chrome et du manganèse peuvent être considérés comme des acides et former des sels solubles dans l'eau.

5. — *Groupe du zinc.* — Zinc, cadmium et magnésium. Ces métaux s'oxydent lentement à l'air humide, mais rapidement s'ils sont chauffés. Ils sont facilement volatils et brûlent dans l'air avec une lumière éclatante en donnant des oxydes ; ces oxydes sont des bases puissantes. Au rouge, ils décomposent la vapeur d'eau.

6. — *Groupe de l'aluminium.* — Aluminium et métaux rares. L'aluminium ne s'oxyde pas à l'air, il ne décompose pas l'eau, à moins qu'il ne soit pulvérisé très finement. Il forme un oxyde qui est acide ou basique, suivant qu'il est combiné à une base plus forte ou plus faible.

7. — *Métaux alcalino-terreux.* — Baryum, strontium et calcium. Ces métaux décomposent rapidement l'eau, en donnant des oxydes ; ces oxydes sont des bases fortes, s'unissant facilement aux acides.

8. — *Métaux alcalins.* — Sodium, potassium et lithium. Ces métaux ont une affinité très grande pour l'oxygène ; aussi doit-on les conserver dans un liquide ne contenant pas cet élément. Les oxydes se dissolvent dans l'eau en formant des solutions caustiques très puissantes.

Nature des métalloïdes.

§ 4. — Tous les éléments chimiques qui ne possèdent pas les propriétés physiques et chimiques décrites à propos des métaux sont appelés *métalloïdes*. Quelques-uns se trouvent dans la nature à l'état libre: oxygène, azote, soufre, quelquefois carbone et sélénium. Comme règle générale, ils sont en opposition avec les métaux quant à leurs propriétés électriques, étant électronégatifs, et conséquemment ils se portent au pôle positif lorsque leurs composés sont soumis à l'action du courant électrique. Cependant, comme pour les métaux, ce caractère positif ou négatif n'est pas absolu, excepté pour l'oxygène et le fluor ; il varie selon la nature des éléments existants dans la combinaison. Ainsi, dans l'acide chlorhydrique, le chlore est négatif, tandis que, dans ses composés oxygénés, il joue le rôle d'un élément positif.

La combinaison d'un métal avec un métalloïde, l'oxygène par exemple, est caractérisée par un changement de propriétés plus marqué que dans le cas de la combinaison de deux métaux. L'affinité des différents métaux pour l'oxygène, le soufre, etc., est cependant très variable. Dans le cas de l'or, cette affinité est si faible que ce métal ne s'unit directement avec aucun de ces métalloïdes. Tandis que les composés résultant de la combinaison de la plupart des métaux avec l'oxygène forment une classe de corps appelés bases, ceux résultant de la combinaison des métalloïdes avec ce même élément ont des propriétés opposées : on les appelle acides. Cependant les métaux qui possèdent le caractère métallique à un faible degré donnent des corps dont les propriétés sont plutôt acides que basiques. C'est sur cet ensemble de pro-

priétés tant chimiques que physiques, qu'est fondée la classification des éléments en métaux et métalloïdes.

Principes et réactions chimiques.

§ 5. — Les chimistes ont trouvé que tous les corps, qu'ils soient à l'état solide, liquide ou gazeux, sont des substances simples, ou qu'ils peuvent être transformés en substances simples, appelées *éléments*. Ces éléments sont représentés par des symboles qui sont ordinairement la première lettre ou quelques lettres de leurs noms. Les différents éléments se combinent entre eux en proportions définies, formant une variété infinie de substances appelées *composés*.

Les éléments sont classés en *métaux* et *métalloïdes*, les uns étant caractérisés par des propriétés bien marquées que ne possèdent pas les autres. Les particules ultimes ou *atomes* qui composent un élément diffèrent en poids des atomes d'un autre élément, et le poids relatif rapporté à celui de l'hydrogène est le *poids atomique*. La table suivante donne les éléments chimiques avec leurs symboles, leurs poids atomiques et leurs poids spécifiques :

Métaux

NOMS	Symboles	Poids atomiques	Poids spécifiques
Aluminium	Al	27,4	2,67
Antimoine	Sb	122	6,72
Argent	Ag	108	10,5
Arsenic	As	75	4,71
Baryum	Ba	137	4
Bismuth	Bi	210	9,9
Cadmium	Cd	112	8,6
Cæsium	Cs	133	»
Calcium	Ca	40	1,58
Cerium	Ce	92,2	5,5
Chrome	Cr	52,1	6,8
Cobalt	Co	58,8	8,9
Cuivre	Cu	63,1	8,96
Didyme	Di	95	»
Erbium	E	112,6	»
Etain	Sn	118	7,3
Fer	Fe	56	7,84
Glucinium	Gl	9,3	2,1
Indium	In	113,4	7,4
Iridium	Ir	196,9	22,4
Lanthane	La	92,9	»
Lithium	Li	7	0,58
Magnésium	Mg	24	1,74
Manganèse	Mn	55	8
Mercure	Hg	200	13,59
Molybdène	Mo	96	8,6
Nickel	Ni	58,8	8,9
Niobium	Nb	94	6,67-7,37
Or	Au	196,8	19,5
Osmium	Os	199,1	21,35
Palladium	Pd	106,6	11,8
Platine	Pt	197,4	21,5
Plomb	Pb	207	11,45
Potassium	K	39,1	0,86
Rhodium	Rh	104,2	11,2
Rubidium	Rb	85,4	1,52
Ruthénium	Ru	104,4	11,4
Sodium	Na	23	0,98
Strontium	Sr	87,5	2,58
Tantale	Ta	182,3	10,78
Thallium	Tl	203,5	11,9
Thorium	Th	115,7	»
Titane	Ti	50	»
Tungstène	W	184	19,26
Uranium	U	237,6	18,4
Vanadium	V	51,3	5,5
Yttrium	Y	61,7	»
Zinc	Zn	65,2	7,11
Zirconium	Zr	89,6	4,15

Métalloïdes

NOMS		Symboles	Poids atomiques	Poids spécifiques
Bore		B	11	2 68
Brome		Br	80	2 96
Carbone	Graphite	C	12	2,2
	Diamant			3,5
Chlore		C	35,5	»
Fluor		F	19	»
Hydrogène		H	1	»
Iode		I	127	4,95
Nitrogène (azote)		N ou Az	14	»
Oxygène		O	16	»
Phosphore		P	31	1,8-2,1
Sélénium		Se	79,5	4,28-4,8
Silicium		Si	28,1	2,49
Soufre		S	32	1,97-2,07
Tellure		Te	128	6,18

Les composés sont formés par la combinaison des différents éléments : ainsi FeO représente l'oxyde de fer, MnO celui de manganèse. Quelquefois deux éléments forment plusieurs composés comme FeO, Fe^2O^3, Fe^3O^4; il est alors nécessaire de pouvoir les désigner. Il y a plusieurs systèmes de nomenclature, mais le plus simple (pour le composé de deux éléments) est celui qui consiste à énoncer d'abord le nom du métalloïde ou du moins métallique terminé par *ure*, le faisant suivre de celui du métal (1). Quand deux métalloïdes se combinent, celui dont les propriétés rappellent le plus celles des métaux est écrit le deuxième. Quelquefois les préfixes grecs, tels que mono, di, tri, sont employés pour indiquer le nombre d'atomes présents. Un autre système consiste à terminer le nom de métal en *ique* ou *eux*, le composé contenant la plus grande proportion de métalloïde étant distingué par le suffixe *ique*

(1) Pour les composés renfermant de l'oxygène, on emploie le mot *oxyde*.

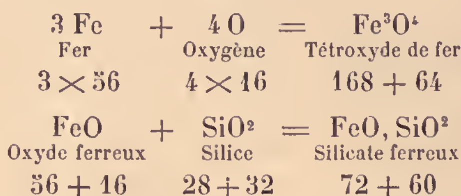
et celui en contenant la plus petite par le suffixe *eux*. Le tableau suivant fera mieux comprendre :

NOMS	NOMS	NOMS	FORMULES
Oxyde de fer. . . .	Oxyde ferreux. . . .	Protoxyde de fer . .	FeO
Trioxyde de fer. . .	» ferrique . . .	Sesquioxyde de fer .	Fe^2O^3
Tétroxyde de fer. .	Tétroxyde triferrique	Oxyde magnétique de fer	Fe^3O^4
Oxyde de manganèse	Oxyde manganeux. .	Protoxyde de manganèse	MnO
Bioxyde de manganèse.	» manganique .	Peroxyde de manganèse	MnO^2
Oxyde d'aluminium.	» aluminique. .	Alumine	Al^2O^3
Oxyde de calcium..	» calcique . . .	Chaux.	CaO
Oxyde de magnésium.	» magnésique .	Magnésie	MgO
Bioxyde de titane. .	»	Acide titanique . . .	TiO^2
Oxyde de carbone..	Oxyde carbonique. .	»	CO
Bioxyde de carbone.	»	Acide carbonique . .	CO^2
Bioxyde de silicium.	Oxyde silicique . . .	Silice	SiO^2
Pentoxyde de phosphore	» phosphorique.	Acide phosphorique .	P^2O^5
Bioxyde de soufre .	» sulfureux. . .	» sulfureux . . .	SO^2
Trioxyde de soufre.	» sulfurique . .	» sulfurique. . .	SO^3

Quand trois éléments, l'un étant un métal et un autre l'oxygène, sont combinés ensemble, le nom du troisième est terminé en *ate*. Les exemples ci-dessous feront mieux comprendre ; il est indifférent de placer les symboles d'une manière quelconque ; en métallurgie, les formules de la dernière colonne sont usitées le plus couramment.

NOMS	NOMS	FORMULES	
Silicate de fer	Silicate ferreux.	$FeSiO^3$	ou FeO, SiO^2
id.	id.	Fe^2SiO^4	ou $2FeO, SiO^2$
Sulfate de fer	Sulfate ferreux	$FeSO^4$	ou FeO, SO^3
Silicate de calcium. . .	Silicate de chaux	$CaSiO^3$	ou CaO, SiO^2
Silicate d'aluminium. .	» d'alumine. . . .	$Al^4Si^3O^{12}$	ou $2Al^2O^3,3SiO$
Carbonate de calcium. .	Carbonate de chaux (calcaire).	$CaCO^3$	ou CaO, CO^2
Carbonate de cuivre . .	Carbonate cuivrique. . .	$CuCO^3$	ou CuO, CO^2

Équations. — Quand deux ou plusieurs éléments s'unissent pour former un composé, ou deux composés pour donner un produit plus complexe encore, la réaction est représentée par une équation chimique, ainsi :



$$\underset{\text{Fer}}{3\,Fe} + \underset{\text{Oxygène}}{4\,O} = \underset{\text{Tétroxyde de fer}}{Fe^3O^4}$$
$$3 \times 56 \qquad 4 \times 16 \qquad 168 + 64$$

$$\underset{\text{Oxyde ferreux}}{FeO} + \underset{\text{Silice}}{SiO^2} = \underset{\text{Silicate ferreux}}{FeO, SiO^2}$$
$$56 + 16 \qquad 28 + 32 \qquad 72 + 60$$

Dans une telle équation, les corps situés à gauche du signe = sont ceux qui entrent en réaction, ceux placés à droite sont les produits de la réaction.

Comme le symbole d'un élément représente en même temps un poids défini donné dans les tables (pages 11 et 12), comme le poids atomique, ces équations chimiques donnent les quantités de matière mises en œuvre. Ainsi, dans la 1re équation, 3×56 parties de fer se combinent à 4×16 parties d'oxygène pour former $168 + 64 = 232$ parties d'oxyde noir de fer.

Quand une réaction chimique a lieu, il en résulte une production ou une absorption de chaleur, celle-là étant due à la combinaison des éléments ou des composés, celle-ci à la mise en liberté des constituants. Si la température produite est considérable, on dit généralement qu'il y a combustion ; ainsi le carbone se combine à l'oxygène en produisant de l'acide carbonique en même temps qu'une chaleur intense.



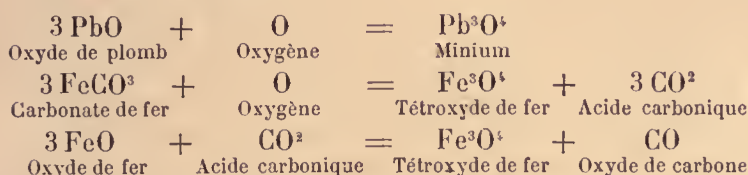
$$\underset{\text{Carbone}}{C} + \underset{\text{Oxygène}}{2\,O} = \underset{\text{Acide carbonique}}{CO^2}$$

Dans le langage courant, on dit que le carbone brûle, et la combustion du charbon n'est autre chose que le résultat d'une combinaison chimique.

Lorsque des substances se combinent avec l'oxygène, elles sont dites *oxydées*, et la matière qui apporte l'oxygène est un agent oxydant. Inversement, les substances qui enlèvent de l'oxygène à un corps sont appelées *réductrices*. Voici quelques exemples :

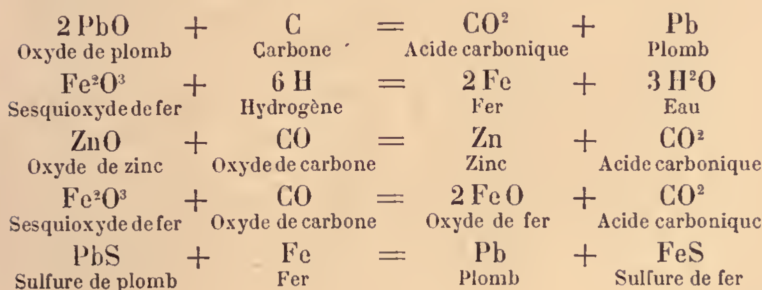
Agents oxydants	*Agents réducteurs*
Oxygène (O).	Carbone (C).
Air (O et Az).	Oxyde de carbone (CO).
Tétroxyde de fer (Fe^3O^4).	Hydrogène (H).
Bioxyde de manganèse (MnO^2).	Composés du carbone et de l'hydrogène, tels que le gaz d'éclairage.
Laitiers contenant les mêmes oxydes et leurs similaires.	Tous les combustibles.
Acide carbonique (CO^2).	Quelques métaux.
Eau (H^2O).	

Exemples d'oxydation :



3 PbO Oxyde de plomb	+	O Oxygène	=	Pb^3O^4 Minium		
3 $FeCO^3$ Carbonate de fer	+	O Oxygène	=	Fe^3O^4 Tétroxyde de fer	+	3 CO^2 Acide carbonique
3 FeO Oxyde de fer	+	CO^2 Acide carbonique	=	Fe^3O^4 Tétroxyde de fer	+	CO Oxyde de carbone

Exemples de réduction :



2 PbO Oxyde de plomb	+	C Carbone	=	CO^2 Acide carbonique	+	Pb Plomb
Fe^2O^3 Sesquioxyde de fer	+	6 H Hydrogène	=	2 Fe Fer	+	3 H^2O Eau
ZnO Oxyde de zinc	+	CO Oxyde de carbone	=	Zn Zinc	+	CO^2 Acide carbonique
Fe^2O^3 Sesquioxyde de fer	+	CO Oxyde de carbone	=	2 FeO Oxyde de fer	+	CO^2 Acide carbonique
PbS Sulfure de plomb	+	Fe Fer	=	Pb Plomb	+	FeS Sulfure de fer

Il est à remarquer que dans les cas d'oxydation ou de réduction, la réaction peut être partielle ou complète. Ainsi, le fer est complètement oxydé quand il est converti en Fe^2O^3, et l'oxyde est complètement réduit lorsque tout le fer est ramené à l'état métallique.

Ce qui va suivre est une courte description des principaux métalloïdes mentionnés précédemment.

Oxygène (*O*). — C'est l'élément le plus abondant, formant probablement une moitié de la croûte solide terrestre, les 8/9 de toute l'eau, et environ 21 pour 100 en volume de l'air. Il est nécessaire à la vie et à tous les phénomènes de combustion. Il est gazeux dans l'air, mais ses composés sont principalement solides ou liquides. Son action oxydante a déjà été mentionnée. Agent principal des combustions, il constitue le milieu actif dans lequel les corps brûlent.

Les *oxydes*, c'est-à-dire les composés de l'oxygène avec les autres éléments, peuvent être divisés, d'une manière générale, en deux groupes : 1° Ceux qui ont un caractère acide, principalement les oxydes des métalloïdes, souvent appelés *acides*, comme l'acide carbonique CO^2 et la silice SiO^2 ; — 2° ceux qui ont un caractère basique, surtout les oxydes des métaux, ordinairement appelés *bases*. Ces deux classes ont des caractères opposés, et lorsqu'on unit un acide et une base en proportions équivalentes, ils se neutralisent généralement, formant ce que l'on appelle les corps *neutres*, qui ne possèdent aucune des propriétés caractéristiques de chacune des espèces constituantes. Ainsi la silice SiO^2 neutralise l'oxyde de fer FeO, donnant un silicate, qui n'est ni acide ni basique. Si quelque composé contient un excès d'acide ou de base, il est classé comme substance acide ou basique, suivant que l'un ou l'autre prédomine. Ainsi, $3\,FeO.SiO^2$ est un silicate basique, et $FeO.\,SiO^2$ est un silicate acide, parce que

dans le premier il y a plus de FeO qu'il ne faut pour saturer SiO^2, et dans le dernier, pas suffisamment.

Hydrogène (*H*). — Il se trouve principalement dans la nature combiné avec l'oxygène, formant l'eau H^2O qui en contient le 1/9 de son poids. Il diffère des autres métalloïdes en ce qu'il ne se combine pas aux autres métaux pour donner des composés ; mais certains métaux, comme le palladium et le fer, en absorbent une grande quantité à l'état occlus. L'hydrogène brûle dans l'air ou dans l'oxygène pur, en dégageant une grande quantité de chaleur :



$$2H + O = H^2O$$

C'est un constituant du bois, de la tourbe, de la houille, du gaz d'éclairage, dans lesquels il existe très probablement à l'état d'eau ; combiné avec le carbone, il donne les carbures d'hydrogène, tels que le gaz des marais CH^4, le gaz oléfiant C^2H^4. Ces composés brûlent en donnant de l'eau et de l'acide carbonique :



CH^4	$+ 4O$	$=$	CO^2	$+ 2H^2O$
Gaz des marais	Oxygène		Acide carbonique	Eau



C^2H^4	$+ 6O$	$=$	$2CO^2$	$+ 2H^2O$
Gaz oléfiant	Oxygène		Acide carbonique	Eau

Dans quelques fourneaux et gazogènes, la vapeur d'eau est introduite concurremment avec l'air pour augmenter le volume du combustible gazeux ; mais il n'y a qu'une portion limitée de la vapeur qui peut être utilisée.

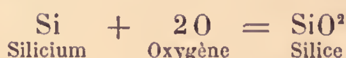
Azote (*Az*). — L'azote forme les 79 centièmes en volume de l'air, sa fonction étant d'atténuer les propriétés actives de l'oxygène. Il ne brûle ni n'entretient la combustion, de sorte que l'azote qui entre dans un fourneau, pour la plus grande part, en sort intact, emportant une grande quantité de chaleur et n'en ayant pas fourni par lui-même.

L'*air* est simplement un mélange d'oxygène et d'azote avec de petites quantités d'eau et d'acide carbonique. Abstraction faite de ces derniers, sa composition est la suivante :

	En volume	En poids
Az.	79	77
O	21	23
	100	100

L'air ressemble à l'oxygène quant à ses propriétés ; il est moins actif par suite de la présence de l'azote.

Silicium (*Si*). — Ce métalloïde est une substance gris-noirâtre. Il existe généralement dans le fer et quelques autres métaux, où, comme le carbone, il est à l'état libre ou combiné. Comme élément, il a une faible importance ; mais combiné, il forme le 1/4 de la croûte terrestre. Il brûle dans l'oxygène, en donnant de la silice :



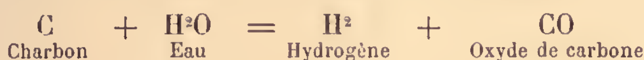
$$\underset{\text{Silicium}}{Si} + \underset{\text{Oxygène}}{2O} = \underset{\text{Silice}}{SiO^2}$$

La *silice* (SiO^2) joue un rôle important dans l'extraction des métaux de leurs minerais, parce qu'elle est le constituant principal des laitiers. A l'état libre, c'est le sable ; à l'état de combinaison avec les bases, elle forme les silicates. Les différents laitiers sont principalement des composés de silice avec l'alumine Al^2O^3, la chaux CaO et d'autres oxydes métalliques qui fondent à haute température. La silice elle-même est pratiquement infusible.

Carbone (*C*). — Ce métalloïde est un constituant essentiel de la matière vivante et des combustibles ordinaires, tels que la houille.

Il existe à l'état libre (diamant, graphite ou plombagine). A l'état de graphite, il est employé dans la fabrication des creusets à cause de son infusibilité et de son incapacité de

former des laitiers fusibles avec les matières acides ou basiques. Il brûle indéfiniment à l'air, mais ne fond ni ne se vaporise. Il existe dans la fonte et l'acier à l'état libre et combiné. Une certaine partie du carbone libre de la fonte monte quelquefois à la surface de la masse fondue. Le charbon de bois et le coke sont presque entièrement composés de carbone avec une petite quantité de matières terreuses qui restent dans les cendres lorsque le carbone est brûlé. Le charbon brûle dans l'oxygène en donnant des oxydes. Si l'on fait passer de la vapeur d'eau sur du charbon fortement chauffé, il y a décomposition de l'eau et oxydation du carbone :

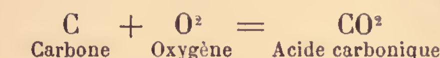


$$\underset{\text{Charbon}}{C} + \underset{\text{Eau}}{H^2O} = \underset{\text{Hydrogène}}{H^2} + \underset{\text{Oxyde de carbone}}{CO}$$



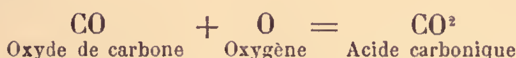
$$\underset{\text{Charbon}}{3\,C} + \underset{\text{Eau}}{2\,H^2O} = \underset{\text{Gaz des marais}}{CH^4} + \underset{\text{Oxyde de carbone}}{2\,CO}$$

Le *bioxyde de carbone* ou *acide carbonique* (CO^2) est un gaz pesant environ 1 fois 1/2 plus que l'air ; il se forme quand le carbone brûle dans l'oxygène ou dans un excès d'air :



$$\underset{\text{Carbone}}{C} + \underset{\text{Oxygène}}{O^2} = \underset{\text{Acide carbonique}}{CO^2}$$

De même, si l'oxyde de carbone est brûlé dans l'oxygène ou dans l'air :



$$\underset{\text{Oxyde de carbone}}{CO} + \underset{\text{Oxygène}}{O} = \underset{\text{Acide carbonique}}{CO^2}$$

Si l'on amène l'acide carbonique au contact du charbon rouge, il se transforme en oxyde de carbone en doublant de volume :



$$\underset{\text{Acide carbonique}}{CO^2} + \underset{\text{Carbone}}{C} = \underset{\text{Oxyde de carbone}}{2\,CO}$$

Dans ce cas, l'acide carbonique est un oxydant. Le gaz carbonique n'est pas un poison, mais il n'entretient ni la vie ni les combustions ordinaires.

L'*oxyde de carbone* (*CO*) est un gaz incolore, ayant environ le même poids que l'air, extrêmement vénéneux ; il brûle dans l'air en donnant de l'acide carbonique, avec production d'une flamme bleue caractéristique et dégagement considérable de chaleur. Le gaz combustible qui se produit dans les gazogènes est principalement de l'oxyde de carbone. C'est un réducteur puissant, probablement le principal facteur de la réduction de l'oxyde de fer dans les hauts-fourneaux et de l'oxyde de zinc dans les moufles à zinc. Aux hautes températures, l'oxyde de carbone est décomposé, spécialement en présence d'autres corps, comme le fer qui se combine au charbon :



$$\underset{\text{Oxyde de carbone}}{2\,CO} = \underset{\text{Acide carbonique}}{CO^2} + \underset{\text{Carbone}}{C}$$

C'est probablement ce qui se passe dans les hauts-fourneaux et dans la cémentation de l'acier.

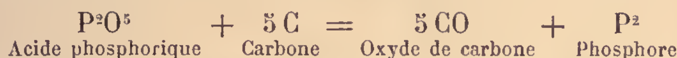
Phosphore (*P*). — Ce métalloïde est généralement un solide cristallin, ressemblant à la cire, qui fond facilement et se vaporise. Il est facilement inflammable dans l'air, donnant un nuage blanc de pentoxyde de phosphore P^2O^5, appelé aussi acide phosphorique. Il se combine avec l'oxygène pour former deux oxydes. Un de ces oxydes se combine avec les bases pour donner des composés appelés phosphates. Le phosphore existe probablement dans les métaux à l'état d'élément, et dans les laitiers à l'état de phosphates. Ainsi, dans l'affinage de la fonte, le phosphate de fer ($3\,FeO.P^2O^5$) se retrouve dans les scories, et le phosphate de chaux ($4\,CaO.P^2O^5$) dans les laitiers basiques.

Les phosphates sont décomposés par la silice à haute température, parce que, dans ces conditions, la silice n'est pas volatile :



$$\underset{\text{Phosphate de fer}}{3\,FeO.P^2O^5} + \underset{\text{Silice}}{SiO^2} = \underset{\text{Silicate de fer}}{3\,FeO.SiO^2} + \underset{\text{Acide phosphorique}}{P^2O^5}$$

L'acide phosphorique est réduit par le carbone, même par le fer, le phosphore se combinant au fer :



$$\underset{\text{Acide phosphorique}}{P^2O^5} + \underset{\text{Carbone}}{5\,C} = \underset{\text{Oxyde de carbone}}{5\,CO} + \underset{\text{Phosphore}}{P^2}$$

Soufre (*S*). — C'est un métalloïde solide à la température ordinaire. Il fond facilement et se volatilise ; il se combine aux métaux pour donner des sulfures (sulfure de fer, FeS). Avec l'oxygène, il forme des oxydes (bioxyde SO^2, trioxyde SO^3).

Chlore (*Cl*). — Cet élément existe dans la nature, combiné principalement au sodium, au calcium, au potassium, au magnésium, etc. A la température et à la pression ordinaires, c'est un gaz jaune verdâtre, ayant une odeur forte et irritante ; par une grande pression, il peut être liquéfié en un liquide jaune verdâtre foncé ; aux basses températures, il peut être solidifié. Il est facilement soluble par l'eau. C'est un agent chimique actif se combinant avec la plupart des métaux pour donner les chlorures. Indirectement, il agit comme oxydant énergique ; de là son emploi dans le blanchiment et dans la désinfection. Combiné à l'hydrogène, il donne l'acide chlorhydrique HCl.

Propriétés des métaux.

Métaux nobles : Or, platine, argent.

§ 6. — *L'or* se rencontre généralement à l'état métallique, souvent associé à l'argent, quelquefois au cuivre, au plomb et au platine. On le trouve enfin dans les minerais de plomb, de zinc, de fer et de cuivre. L'or est un métal jaune, brillant ; c'est le métal le plus malléable et le plus ductile ; son poids spécifique est 19,5 ; son point de fusion est 1065° ; il n'est volatil qu'aux très hautes températures. Il est aussi mou que

le plomb et peut être soudé par pression à froid ; c'est l'un des meilleurs conducteurs de la chaleur et de l'électricité.

L'or ne s'oxyde pas à l'air, il n'est attaqué par aucun acide simple, sauf par l'acide sélénique, mais est dissous par certaines substances comme l'eau régale qui contient du chlore. Le chlore à l'état gazeux s'unit directement avec l'or pour donner le chlorure $AuCl^3$. Il reste inattaqué par le soufre ou ses composés, de telle sorte que l'or exposé aux fumées sulfureuses ne se ternit pas comme l'argent placé dans les mêmes conditions. L'or pur est trop mou pour l'usage courant ; on l'allie ordinairement à l'argent et au cuivre qui le durcissent sans altérer sensiblement sa malléabilité et sa ductilité. L'antimoine, l'arsenic et le plomb, même en petites quantités, modifient totalement les propriétés de l'or.

Le *platine* est un métal blanc, brillant, très malléable et très ductile. Aussi doux que l'argent, il peut être soudé ; il est très tenace, venant immédiatement après le fer et le cuivre ; il fond à la plus haute température, celle produite par exemple dans la flamme oxhydrique ou dans l'arc électrique. Il ne s'oxyde à aucune température et résiste à l'action de tous les acides simples ; son meilleur dissolvant est l'eau régale. C'est un des métaux les plus lourds ; sa densité est 21,5. Comme l'argent, à l'état fondu il absorbe l'oxygène, et par refroidissement, produit le phénomène du rochage. Il absorbe des quantités considérables d'hydrogène et d'autres gaz quand il est fortement chauffé en leur présence. Le noir de platine possède cette propriété au plus haut degré ; si on en introduit dans un mélange d'hydrogène et d'oxygène, il provoque la combinaison avec production d'une grande quantité de chaleur.

Le platine se trouve dans la nature à l'état métallique, comme l'or, sous la forme de grains ou pépites ; il est souvent

associé au fer, au cuivre, à l'argent, à l'or, et à quelques métaux rares.

L'*argent* est remarquable par sa blancheur et son brillant éclat, quoiqu'à l'état précipité il se présente sous l'aspect d'une poudre grise. Plus dur que l'or, il est plus mou que le cuivre, la dureté relative étant comme 4 : 5 : 7, 2. Il est très malléable et très ductile. Son poids spécifique est 10, 5 ; il peut être augmenté par le laminage, le martelage, etc. Il fond à 1000° C. environ, c'est un des meilleurs conducteurs de la chaleur et de l'électricité ; volatil aux très hautes températures, il peut distiller à la température de l'arc électrique.

Chauffé dans un courant d'hydrogène, il se volatilise à 1330° C. Chauffé à l'air, il ne s'oxyde pas ; mais fondu, il absorbe de l'oxygène et, par refroidissement, produit le rochage. A l'état finement divisé, l'argent chauffé s'oxyde au contact de certains oxydes métalliques (oxyde de cuivre, bioxyde de manganèse, minium), et ces corps sont ramenés à un état inférieur d'oxydation. L'argent est soluble dans les acides nitrique et sulfurique. Il se combine facilement au soufre quand il est chauffé, en donnant le sulfure Ag^2S, qui est un corps cristallin, d'un gris foncé, avec un brillant faible, assez mou et légèrement malléable. Chauffé à l'air, ce sulfure ne forme pas l'oxyde ou le sulfate, comme la plupart des autres sulfures métalliques ; au rouge, il se décompose en argent métallique et acide sulfureux. L'acide chlorhydrique dilué n'a pas d'action sur le sulfure d'argent ; l'acide concentré l'attaque. Le plomb, le cuivre ou le fer le décomposent si les deux corps sont chauffés ensemble. Quand le sulfure d'argent est chauffé avec du sel marin, en présence d'air humide, il se forme du chlorure d'argent.

L'argent et tous ses sels se dissolvent dans l'hyposulfite de sodium, en formant un sel double ($S^2O^3Na^2 + S^2O^3Ag^2$), si

le sel de sodium est en excès. L'argent se combine directement au chlore pour donner le chlorure AgCl. Le même corps se produit si on ajoute de l'acide chlorhydrique ou une solution de sel marin à une liqueur contenant de l'argent : AgCl se précipite en une poudre blanche. Si cependant le sel de sodium, en solution concentrée, est en grand excès, AgCl se dissout en formant un sel double soluble :



$$AgAzO^3 + NaCl = AgCl + AzO^3Na$$
$$AgCl + NaCl = AgCl, NaCl$$

Le chlorure d'argent fond au rouge sombre en un liquide jaune, et se volatilise facilement au rouge vif. Insoluble dans les acides, il se dissout dans l'ammoniaque, le chlorure de sodium, l'hyposulfite de sodium et le cyanure de sodium. Il peut être réduit par l'hydrogène, le carbonate de soude, le zinc, le fer et quelques autres métaux, partiellement par le soufre. Il se combine à l'oxyde de plomb en toutes proportions, et en partie avec le sulfure de plomb et quelques autres sulfures.

L'argent se trouve dans la nature à l'état métallique ; à l'état de sulfure souvent associé à ceux de plomb, d'antimoine et de fer ; à l'état de bromure, d'iodure, de chlorure dans l'argent corné. Il se rencontre dans quelques minerais de plomb, de zinc, de cuivre, et quelquefois dans la pyrite de fer.

L'argent est trop mou pour être travaillé seul ; l'argent pur n'est employé que dans quelques cas où la présence d'autres métaux est alors très fâcheuse. Dans la plupart des cas, l'argent est allié au cuivre, et à l'occasion, avec d'autres métaux comme dans les soudures d'argent.

Groupe du cuivre (cuivre, mercure, plomb et bismuth).

§ 7. — Le *cuivre* a une couleur rouge ; il est très malléable, ductile, tenace ; il fond vers 1045° et n'est pas sensiblement volatil, excepté aux très hautes températures ; son poids spécifique, égal à 8,96, peut être légèrement augmenté par le laminage et le martelage. Le cuivre est un des meilleurs conducteurs de la chaleur et de l'électricité, mais cette propriété est considérablement changée par la présence de petites traces d'impuretés. Lorsqu'une barre de cuivre est fraîchement brisée, elle présente une cassure d'aspect fibreux et de couleur saumon clair. Le cuivre se combine facilement avec l'oxygène au rouge, en donnant l'un ou l'autre des deux oxydes connus sous les noms d'oxyde rouge ou d'oxyde noir, selon leur couleur. L'oxyde rouge est très basique et s'unit aux substances acides, telles que la silice, pour former des sels de cuivre. Il est soluble dans le cuivre fondu, et le rend sec et cassant. Pour remédier à cet inconvénient, on refond le cuivre avec un peu de charbon de bois en ayant soin de le remuer avec du bois vert. Le cuivre commercial ou affiné n'est jamais pur, mais les impuretés sont détruites par la présence d'un peu d'oxygène. Si l'agitation avec le bois vert est poussée trop loin, l'oxygène actif est éliminé et les autres impuretés rendent le cuivre sec. Le cuivre est alors dit surraffiné.

Le cuivre s'unit directement au soufre si on les chauffe tous deux ensemble pour former du sulfure de cuivre ; ce sulfure, d'une couleur gris-bleuâtre, présente une cassure à grain fin quand il est brisé, et possède un éclat métallique.

Le phosphore rend le cuivre très mauvais ; mais une petite quantité peut, dans certaines circonstances, favoriser

l'affinage à la condition toutefois qu'il soit ensuite éliminé.

Le silicium, produit de la réduction du sable par le carbone, s'unit au cuivre, le rendant beaucoup plus dur et lui donnant l'aspect du bronze ; mais il diminue sa faculté d'être affiné et sa malléabilité.

Le plomb, l'arsenic, l'antimoine rendent le cuivre dur, sec et cassant.

Les impuretés communes dans le cuivre sont le fer, l'arsenic, l'antimoine et l'oxyde cuivreux, quelquefois l'étain, le bismuth, le plomb, le nickel et le cobalt. Les variétés de cuivre commercial sont : *cuivre rosette* ou *cuivre du Japon* dont la surface présente une couleur rouge particulière due à une couche d'oxyde produit en projetant de l'eau sur la surface du métal encore chaud ; — *cuivre en grains* et *en plumes* obtenus respectivement sous la forme de grains et de lamelles en coulant le métal dans l'eau chaude ou froide ; — *tough-cake* est une variété en plaques convenant pour le laminage ; — *best-selected* est la variété de cuivre commercial la plus pure ; on apporte le plus grand soin à le débarrasser du soufre, de l'arsenic, de l'antimoine et du fer. Le *cuivre de Russie* contient généralement des traces de fer, autrement il est très pur. Le *cuivre du Chili* : cette variété est préparée en barres pesant jusqu'à 200 lbs ; elle demande à être raffinée avant d'être employée.

Mercure. — C'est le seul des métaux usuels qui soit liquide à la température ordinaire ; il est aussi appelé vif-argent et a été connu depuis les temps les plus reculés. Il a une couleur blanc d'argent avec un éclat brillant ; pur, il n'a ni goût ni odeur. Il bout à 360° et se solidifie à — 39°4 C. en une masse molle, blanche, malléable, dont la cassure récente présente une surface à aspect granulé. Il a un coefficient de dilatation très élevé et très régulier, ce qui le rend propre à la cons-

truction des thermomètres et appareils semblables ; sa chaleur spécifique est 0,0332 et sa densité à 4° C. 13,59. Le mercure liquide ne s'oxyde pas à l'air, excepté près de son point d'ébullition, ce qui permet de déceler facilement la présence d'autres métaux, comme le plomb et l'antimoine, ajoutés comme fraude ou constituant des impuretés. Le mercure impur, exposé à l'air ou à l'oxygène, se recouvre d'une pellicule grise, due à l'oxydation des impuretés. A son point d'ébullition, le mercure est lentement transformé en oxyde mercurique HgO. Il se combine directement au soufre pour donner un composé important, le sulfure de cuivre ou vermillon HgS.

Le mercure s'unit avec la plupart des métaux pour former les *amalgames*, qui sont liquides, demi-liquides ou solides. Les amalgames solides sont regardés comme des composés chimiques, pendant que les amalgames liquides peuvent être considérés comme des solutions des composés dans un excès de mercure ; mais l'affinité est si faible que le mercure est partiellement chassé par pression, et complètement éliminé par la chaleur dans la plupart des cas. Les amalgames sont formés : 1° par agitation du métal finement divisé avec le mercure, une élévation de température facilitant l'amalgamation ; — 2° en plongeant un métal dans une solution d'un sel de mercure ; — 3° par action voltaïque, le métal étant mis au contact du mercure et d'un acide ; — 4° en mélangeant un métal, comme l'or, avec l'amalgame d'un métal fortement positif comme le sodium.

Le mercure se trouve à l'état métallique, quelquefois amalgamé avec l'argent, et aussi à l'état de chlorure, bromure et iodure de mercure. La principale source est le sulfure de mercure HgS, ou cinabre.

Plomb. — Ce métal a une couleur gris-bleuâtre et possède

un éclat brillant; il est malléable, ductile, mais a une faible ténacité. Le brillant d'une surface fraîchement coupée, exposée à l'air, se ternit bientôt, par suite de la formation d'une pellicule de sous-oxyde de plomb. Le plomb pur émet un son lourd s'il est frappé, mais la présence d'impuretés le rend plus sonore; si le métal pur est fondu en forme de sphère creuse, il devient sonore. Son poids spécifique est 11,45 et tous les métaux usuels avec lesquels il est allié diminuent sa densité. Il fond vers 330°C. et n'est pas apte au coulage parce qu'il se contracte beaucoup au moment de sa solidification. Il est si mou qu'il peut être facilement coupé avec un couteau et amené à l'état de tubes ou de tiges; deux surfaces planes de plomb peuvent être aisément soudées ensemble par pression à froid; si le métal est à l'état très divisé, il peut être réuni en une masse compacte par la pression. La chaleur spécifique du plomb entre 0° et 100° C. est 0,0314, et son coefficient de dilatation est 0,0003 par degré entre 0° et 100° C.

Si le plomb est chauffé dans de l'eau bouillante contenant de l'oxygène, il se dissout en partie, et le liquide a une réaction alcaline. Le métal s'oxyde à l'air humide; il est quelque peu volatil quand il est chauffé à l'air, en formant un oxyde PbO; cet oxyde agit comme oxydant sur plusieurs métaux, comme le cuivre, le zinc, le fer, etc. Le plomb et le soufre chauffés ensemble se combinent, formant un sulfure PbS, qui est un corps cristallin, gris-bleuâtre, cassant.

Le plomb commercial est parfois presque pur; mais il contient généralement de l'argent, du cuivre, de l'antimoine, de l'étain et du soufre; quelquefois, du fer, de l'arsenic, du zinc, du manganèse.

— Le *bismuth* est un métal dur, blanc-grisâtre avec une teinte rougeâtre et un brillant métallique éclatant. Son poids spécifique est 9,9; il peut être modifié par la pression. Le

bismuth fond à 270° C., se volatilise à haute température, brûlant avec une flamme bleue et donnant des fleurs de bismuth Bi^2O^3 ; il se dilate en se solidifiant. Le métal étant fondu et refroidi jusqu'au commencement de la solidification, si on brise la croûte superficielle et si on enlève l'excès de bismuth, on obtient de beaux et grands cristaux. Ils s'oxydent à l'air, et fréquemment se recouvrent d'une pellicule irisée d'oxyde. Le bismuth se combine au soufre pour donner un sulfure Bi^2S^3 gris foncé, à aspect métallique.

Le bismuth est employé pour la préparation de produits pharmaceutiques et de cosmétiques. Le principal usage de ce métal est dans la fabrication des alliages fusibles, dont le point de fusion peut être modifié en variant les proportions des constituants.

Le bismuth se trouve dans la nature à l'état métallique, à l'état de sulfure Bi^2S^3, d'oxyde Bi^2O^3, et souvent dans les minerais d'argent, de plomb, d'étain, de cuivre et de cobalt.

Groupe de l'étain (Étain, antimoine et arsenic).

§ 8. — L'*étain* est un métal blanc, brillant, très malléable ; on connaît l'extrême minceur des feuillets d'étain. Une barre d'étain ployée produit un son particulier connu sous le nom de *cri de l'étain* ; ce son est supposé dû au frottement des cristaux les uns contre les autres. Son poids spécifique est 7,3 ; l'étain fond à 230°C. et peut même être fortement chauffé sans volatilisation. Chauffé à une température voisine de son point d'ébullition et tombant d'une hauteur considérable, le métal prend la forme de grains longs, connu sous le nom d'étain en larmes. Fondu et versé dans un moule à une température un peu supérieure au point de solidification, la surface du métal devient éclatante s'il est pur ; la présence d'une

petite quantité de plomb, de fer ou d'un autre métal, donne une apparence plus ou moins sombre, de sorte que le brillant de la surface est une preuve de pureté.

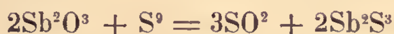
L'étain est facilement obtenu à l'état cristallin en traitant sa surface par un mélange d'acides nitrique et sulfurique dilués ; la décoration connue sous le nom de *moiré métallique*, s'obtient de cette façon. L'étain est un mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité ; il prend un beau poli, et il réfléchit peu les radiations calorifiques. C'est un métal de valeur pour la confection des instruments de cuisine. Il est peu attaqué par l'air à la température ordinaire, ce qui le fait employer pour protéger le fer de la rouille. Il se combine facilement au soufre sous l'action de la chaleur pour donner le sulfure SnS. L'étain commercial contient souvent de petites quantités de plomb, de fer, de cuivre, d'arsenic, d'antimoine, de bismuth, de tungstène, quelquefois de manganèse et de zinc. On distingue dans le commerce l'étain commun, l'étain raffiné et l'étain en larmes. L'étain raffiné se retire des meilleurs minerais et est plus travaillé que l'étain commun. L'étain en larmes est extrait des meilleurs saumons, qui sont chauffés et traités comme il a été dit plus haut.

Le seul minerai important d'étain est la cassitérite ou bioxyde d'étain SnO^2.

Antimoine. — L'antimoine commercial ordinaire est souvent très impur ; il contient du fer, du plomb, de l'arsenic, du soufre, et est appelé *régule d'antimoine*. C'est un métal blanc-bleuâtre, brillant, très cristallin, montrant des cristaux en forme de feuilles de fougère à la surface ; il est très sec, ce qui permet de le pulvériser facilement. Son poids spécifique est 6,72 ; il fond à 632° C. et se volatilise à une température plus haute. Il ne s'oxyde pas à la température ordinaire, mais chauffé à l'air, il donne l'oxyde antimonieux Sb^2O^3.

Au rouge, il brûle avec une flamme blanc-bleuâtre en produisant des fumées denses de Sb^2O^3.

L'antimoine et le soufre chauffés ensemble se combinent pour donner Sb^2S^3 ; on obtient le même composé en chauffant l'oxyde avec du soufre :



$$2Sb^2O^3 + S^9 = 3SO^2 + 2Sb^2S^3$$

L'antimoine s'unit aux autres métaux pour former des alliages recherchés à cause de leur dureté ; mais il diminue la malléabilité et la ductilité des métaux malléables. La présence de petites quantités d'antimoine dans les métaux malléables, comme le cuivre, l'or, le fer, etc., les rend durs et secs.

L'antimoine se trouve à l'état natif, et combiné avec d'autres minerais ; mais le principal composé est la *stibine* Sb^2S^3.

Arsenic. — Ce métal a une couleur brillante, d'un gris d'acier foncé ; il est cristallin, excessivement sec, facilement réductible en poudre. Chauffé à 180°C. en vase clos, il commence à se volatiliser sans fondre, et cristallise en se condensant dans les mêmes formes que l'antimoine. La vapeur est incolore ; elle a une odeur particulière d'ail. A l'air sec, l'arsenic ne se modifie point ; chauffé dans l'air, il absorbe l'oxygène et brûle avec une flamme bleuâtre, formant de l'acide arsénieux As^2O^3, qui se condense en une poudre blanche au contact d'un corps froid. Le poids spécifique de l'arsenic est 4,71.

L'arsenic se trouve dans la nature à l'état de réalgar As^2S^2, d'orpiment As^2S^3, de mispickel $FeAs + FeS$, dans les pyrites et les arséniures de nickel.

Il s'obtient en chauffant le mispickel, l'arséniure, etc., dans des cornues closes ; l'arsenic se sublime dans des chambres de condensation.

L'arsenic entre dans la composition de quelques alliages,

comme le plomb de chasse ; son influence est de rendre les alliages durs et secs, en même temps que plus fusibles. Ses composés sont employés en médecine et dans la fabrication du verre.

Groupe du fer (fer, chrome, manganèse, nickel et cobalt).

§ 9. *Fer*. — Le fer malléable est d'une couleur blanc-gris, ayant une cassure granulée, cristalline ou fibreuse selon le mode de traitement. Laminé ou martelé à chaud, le fer devient fibreux ; mais si l'on continue à le marteler à froid, il prend une structure granulée ou cristalline qui le rend dur et sec. La nature de la surface de rupture varie suivant la manière dont le fer a été brisé : pour les échantillons brisés par un effort progressivement croissant, on observe toujours une structure fibreuse, tandis que pour les spécimens brisés brusquement, on peut avoir une texture cristalline. La présence d'impuretés tend généralement à communiquer un aspect granulé ou cristallin, et rend le fer moins malléable. Si les impuretés, telles que le soufre et l'arsenic, rendent le métal impropre au travail au rouge, le métal est dit cassant à chaud. D'autre part, certaines substances, comme le phosphore, rendent le fer cassant s'il est martelé à froid : le métal est dit cassant à froid. Le poids spécifique du fer est environ 7,8. Son point de fusion est environ 2000° C. ; mais avant d'être fondu, le fer prend un état pâteux, qui permet de réunir deux pièces ensemble par soudure. Pour obtenir une bonne soudure, les surfaces doivent être très propres, et le fer doit être au blanc. Afin de dissoudre quelques battitures, le forgeron ajoute un peu de sable qui se combine à l'oxyde produit par l'union du fer avec l'oxygène de l'air pour former un silicate fusible. La présence de quelques corps étrangers,

comme le carbone, le silicium, le soufre, le phosphore, le cuivre, l'oxygène, etc., augmente la difficulté du travail. Le fer possède une malléabilité, une ductilité et une ténacité considérables. Sa résistance à la traction, comme ses autres propriétés physiques, est modifiée par la présence d'impuretés qui rendent le métal plus dur, plus fusible et sec. Quand le fer est chauffé dans l'air au blanc soudant, il brûle en donnant l'oxyde noir Fe^3O^4, et devient friable et aigre : il est alors appelé *fer brûlé*. Le fer peut être rendu magnétique en le portant au contact ou en l'approchant d'un aimant, mais le fer doux perd son magnétisme si l'aimant est éloigné. La chaleur spécifique du fer est 0,1137 ; sa conductibilité est d'environ 120, celle de l'argent étant 1000. Sa résistance électrique est 5,8 fois celle du cuivre pur. Exposé à l'air humide, il se rouille facilement, de sorte que pour le préserver de cette action, on le recouvre souvent d'une autre substance (étamage, galvanisation, peinture). Le professeur Barff empêche le fer de se rouiller en l'exposant au rouge à l'action de la vapeur d'eau surchauffée : il se forme une couche d'oxyde noir Fe^3O^4.

Le fer pur ne se trouve pas dans le commerce, mais on peut l'obtenir de différentes manières : 1° en réduisant l'oxyde ferrique pur dans un tube de porcelaine par un courant de gaz hydrogène à 700° C. ; le fer obtenu est une poudre brune qui, encore chaude, brûle spontanément à l'air en donnant l'oxyde ferrique Fe^2O^3. Si la réduction est opérée à plus haute température, on a une masse spongieuse gris d'argent ; — 2° en chauffant la variété la plus pure de fer en fil avec un peu d'oxyde de fer pur, couvrant le tout avec du verre pulvérisé exempt de plomb et chauffant à haute température dans un creuset luté à l'argile. La petite portion de carbone contenu dans le fer est réduite par l'oxyde, pendant que les autres im-

puretés passent dans le laitier ; — 3° par décomposition électrolytique d'une solution de chlorure ou de sulfate ferrique pur, on obtient une masse de fer gris d'argent, mou, malléable, dont le poids spécifique est 7,81 après recuit.

Le fer peut être exposé indéfiniment à l'air sec sans être altéré ; en présence de l'humidité, il se forme une couche de rouille Fe^2O^3. L'oxydation est accélérée par la présence de l'acide carbonique, qui est toujours présent dans l'air ; il se forme un carbonate de fer. Ce composé absorbe rapidement une nouvelle quantité d'eau et d'oxygène de l'air, et de cette manière, l'oxydation ne tarde pas à pénétrer toute la masse de fer. La couche d'oxyde et de carbonate est électronégative par rapport au fer, de telle sorte qu'une action galvanique s'établit et amène la décomposition de l'eau. Cette condition électrique augmente toujours la facilité pour le fer de se rouiller.

Si le fer est fortement chauffé au contact de l'air ou de l'oxygène, sa surface est rapidement couverte d'une couche d'oxyde noir Fe^3O^4, qui s'enlève facilement si l'on frappe avec un marteau.

Fer et soufre. — Les composés du fer et du soufre se trouvent dans la nature ; ce sont les pyrites. Ces éléments se combinent si on les chauffe ensemble en donnant du sulfure FeS. Le soufre, même en petite quantité, a une mauvaise influence sur le fer doux ; il le rend cassant à chaud, quoique le métal puisse être facilement travaillé à froid. Avec la fonte, une petite quantité de soufre est quelquefois avantageuse ; la fonte devient plus forte, plus fusible et plus liquide pour le coulage. Le soufre dans la fonte crue tend à la production de la fonte blanche ; la surface et les portions rompues montrent souvent des taches noires, caractéristiques du sulfure de fer. Le sulfure de fer, chauffé avec du carbone, est peu attaqué,

mais il est décomposé à haute température par les substances oxydantes. Si le sulfure est chauffé avec du sulfate ferreux en proportions convenables, tout le soufre est transformé en acide sulfureux SO^2, et il reste de l'oxyde ferrique Fe^2O^3.

Fer et phosphore. — Ces corps se combinent facilement si le phosphore est jeté dans le fer au rouge, en donnant un phosphure de fer $Fe^{12}P$. Si l'oxyde de fer est réduit en présence d'un phosphate terreux, le phosphore se sépare et se combine au fer. 0,3 pour cent de phosphore dans le fer doux le rend plus dur et diminue sa ténacité. 0,5 pour cent le rend cassant à froid, mais non cassant à chaud ; avec 1 pour cent le fer est très sec. L'effet du phosphore sur le fer est de lui communiquer une structure grossièrement cristalline, de diminuer sa résistance, d'augmenter sa fusibilité et de le rendre aigre. La présence du phosphore dans la fonte diminue sa résistance, mais comme il donne de la fluidité au métal, il facilite la fabrication des pièces délicates.

Fer et arsenic. — L'effet de l'arsenic sur le fer est le même que celui du soufre, une très petite quantité rendant le métal cassant à chaud. Quelques composés du fer et de l'arsenic sont connus, dont la couleur varie du gris au blanc. L'arsenic n'est pas une impureté très fréquente dans le fer.

Fer et silicium. — Un composé de silicium et de fer, cristallin et d'une couleur blanc d'argent, connu sous le nom de ferrosilicium, est maintenant courant dans le commerce ; il est employé pour donner de la solidité aux pièces d'acier. Il est obtenu en réduisant la silice par le carbone en présence du fer. Si le fer est chauffé seul avec la silice, il n'y a pas d'action. L'effet du silicium sur la fonte est de rendre le carbone à l'état libre, de sorte que plus la fonte est grise, plus elle contient de silicium. Le silicium rend le fer dur et sec, plus facilement fusible.

Fer et carbone. — Le carbone se combine au fer dans des proportions variables, jusqu'à 4,5 pour cent, en donnant les différentes variétés d'acier et de fonte. Quand il y a du manganèse, on doit employer une plus grande proportion de carbone. La différence entre le fer malléable, l'acier et la fonte dépend principalement des quantités relatives de carbone combiné au fer.

Plus il y a de carbone, plus dur et plus fusible devient le métal, et cet effet est considérablement augmenté par la présence d'autres corps, tels que le phosphore, le soufre, etc. La combinaison a lieu quand le fer est chauffé en présence d'un combustible gazeux, comme l'oxyde de carbone, le cyanogène, les hydrocarbures, ou à haute température en contact prolongé avec du carbone solide (opération de la cémentation). Si le carbone présent dans le fer atteint 0,15 pour cent, le fer est sensiblement plus dur; cette proportion peut être considérée comme la plus grande pouvant exister dans le fer malléable sans diminuer sa douceur ni sa malléabilité. L'acier peut être considéré comme du fer contenant de 0,15 à 1,8 pour cent de carbone. Si la proportion de carbone est inférieure, le métal est appelé *acier doux*; par suite, le métal qui en contiendra une plus forte proportion sera appelé *acier dur*. Le carbone existe dans la fonte sous deux états, libre ou combiné. Si le carbone est principalement à l'état combiné, on a la fonte *blanche*; d'autre part, si le carbone est à l'état libre, étant diffusé à travers le fer en lamelles cristallines, on a la fonte *grise*; mais aucune variété n'est respectivement entièrement exempte de graphite ou de carbone combiné. Dans quelques variétés, le carbone est partiellement combiné, partiellement libre, ce qui donne à la surface de rupture du métal une apparence mouchetée, consistant en taches grises encloses dans un tissu réticulaire de lignes blanches; c'est alors le *fer truité*.

Chrome. — C'est un métal assez rare qui existe à l'état naturel combiné à d'autres éléments ; le principal minerai est le fer chromé FeO,Cr^2O^3. Le chrome et ses oxydes constituent la matière colorante de quelques minéraux : la couleur verte de l'émeraude, par exemple, est due à l'oxyde de chrome. Le métal est obtenu par réduction de l'oxyde ou du chlorure, ou par électrolyse du chlorure ; le chrome se sépare alors en brillantes écailles cassantes. Le chrome a une couleur blanc d'étain ; son poids spécifique est 6,8. Le métal est réputé être dur comme du corindon ; il fond plus difficilement que le platine et s'oxyde lentement à l'air, s'il est chauffé. Il est employé sous la forme d'un alliage avec le fer et le carbone, constituant un acier brillant, dur et blanc, très estimé pour certains usages.

Manganèse. — Le métal pur, obtenu par réduction de l'oxyde, est un corps gris ou blanc-rougeâtre, dur et sec ; son poids spécifique est environ 8 ; il s'oxyde plus facilement que le fer et doit être mis à l'abri de l'air ; on le conserve sous l'huile de naphte ou dans des vases hermétiquement fermés. Son principal emploi est dans la fabrication d'alliages avec le fer, l'acier, le cuivre. Il n'est pas utilisé à l'état libre. Les composés de manganèse sont très répandus dans la nature : l'un des plus communs est la pyrolusite ou l'oxyde noir de manganèse MnO^2.

Nickel. — C'est un métal d'un blanc brillant, malléable, ductile, soudable et très tenace ; son point de fusion est un peu moins élevé que celui du fer, mais la présence du carbone et d'autres impuretés l'abaisse considérablement. Son poids spécifique est 8,9 ; comme le fer, il est magnétique, mais à un degré moindre. Il ne s'oxyde pas facilement dans l'air à la température ordinaire, mais chauffé, il donne le protoxyde NiO. Il se combine facilement au soufre pour former le sul-

fure NiS, d'une couleur jaune bronze ; avec l'arsenic, on a l'arséniure NiAs.

Le nickel se trouve dans le commerce sous la forme de cubes ou de plaques gris terne ; en les fondant à haute température, on obtient un métal compact, blanc d'argent. La malléabilité du nickel permet de le façonner en articles variés qui possèdent un beau brillant. La conservation facile de cet éclat le rend très propre à recouvrir les métaux usuels par le procédé du nickelage, d'autant mieux qu'il est très difficilement oxydable.

Le nickel commercial était autrefois très impur, à cause de la présence du carbone et d'autres corps qui le rendaient dur et cassant. Le Dr Fleitmann et d'autres métallurgistes ont institué pour le raffinage du nickel des procédés simples et efficaces, qui sont maintenant très employés. Fleitmann ajoute au métal fondu de petites quantités de magnésium en plusieurs fois : une once de magnésium est suffisante pour raffiner 60 lbs de nickel impur. Le magnésium est supposé réduire l'oxyde de carbone en donnant de la magnésie, le carbone se séparant à l'état de graphite. Le nickel s'unit facilement avec la plupart des métaux pour former des alliages dont quelques-uns sont d'une grande utilité commerciale. Le plus important est le maillechort. Le nickel se trouve dans la nature à l'état de sulfoarséniure qui est un minerai d'un rouge cuivre doué d'éclat métallique, et de sulfure d'une couleur jaune bronze. La garniérite est un hydrosilicate de nickel, de fer et de magnésie.

Cobalt. — Par son aspect et ses propriétés, ce métal ressemble au nickel auquel il est généralement associé dans la nature. Le cobalt est un métal blanc, très malléable, ductile et tenace ; son poids spécifique est 8,9 ; il est magnétique comme le nickel. Presque malléable à l'air à la température

ordinaire, il s'oxyde si on le chauffe, et brûle avec une flamme rouge à haute température. Il est rarement employé à l'état métallique ; mais ses composés sont d'un très grand usage pour la fabrication des couleurs. Il se combine à l'arsenic pour donner des composés couleur fer, fusibles et cassants.

Les principaux minerais sont la smaltine CoAs, le sulfoarséniure Co^2AsS et l'arséniate $Co^3As^4O, 4H^2O$.

Groupe du zinc (zinc, cadmium et magnésium).

§ **10**. *Zinc*. — C'est un métal blanc, à reflets bleuâtres, avec un beau brillant métallique. Le zinc ordinaire est dur et sec ; sa cassure montre une structure cristalline. Pur, il est malléable à la température ordinaire ; le zinc ordinaire fondu est cassant. Cependant, si on le chauffe à 100°-150° C., il devient malléable et ductile ; si on dépasse ce point, il perd de nouveau ces propriétés. Son poids spécifique, à l'état fondu, est 6,9 ; par le laminage et le forgeage, il monte à 7,1. Étant liquide, il se contracte légèrement par refroidissement, ce qui le rend très apte au coulage. Les saumons faits à haute température sont secs et cristallins ; ceux faits près du point de solidification sont plus malléables. Le zinc fond à 420° C. et bout à 930° C. Au rouge, il s'oxyde rapidement à l'air et brûle avec une flamme verdâtre, donnant l'oxyde ZnO ; s'il est chauffé au rouge vif dans un vase fermé, il peut être facilement distillé. Si le zinc laminé est exposé à l'air humide, il se forme une couche grise de sous-oxyde qui préserve alors le métal de l'oxydation. Le zinc ordinaire se dissout facilement dans les acides chlorhydrique et sulfurique dilués, tandis que le métal pur est inattaqué ; les deux se dissolvent dans l'acide nitrique et les alcalis. Le zinc déplace l'argent, l'or, le platine, le bismuth, l'antimoine, l'étain, le mercure

et le plomb de leurs solutions. Les principales impuretés du zinc commercial sont le fer, le plomb et l'arsenic.

Le zinc et le soufre ne se combinent pas facilement, mais si on projette dans un creuset au rouge un mélange de zinc finement pulvérisé et de soufre, il se forme un peu de sulfure ZnS. Ce sulfure se forme aussi si on chauffe du zinc avec du cinabre HgS.

Chauffé avec du phosphore ou de l'arsenic, le zinc donne des composés à éclat métallique, qui possèdent quelquefois une cassure vitreuse.

Les principaux minerais de zinc sont :

L'oxyde ZnO appelé *zincite* ou oxyde rouge de zinc ; blanc quand il est pur, il est généralement rouge à cause de l'oxyde de manganèse qu'il contient ;

Le sulfure ZnS, appelé *blende* ou *black-jack*, qui est la principale source du métal ; généralement noir ou jaune-noir, il a quelquefois une teinte rougeâtre par suite de la présence de la galène ; blanc à l'état pur, il contient 67,03 pour cent de zinc ;

Le carbonate $ZnCO^3$ ou *calamine* et le silicate 2ZnO, SiO^2, H^2O ou *hydrowillemite*.

Le zinc forme avec les autres métaux une classe très importante d'alliages, tels que les bronzes, le maillechort, etc. Il est employé sous forme de feuilles, il protège le fer contre la rouille, dans le fer galvanisé ; il constitue l'élément électropositif dans beaucoup de piles ; sous forme de poussière il est obtenu en grandes quantités mélangé à l'oxyde de zinc : il est alors utilisé comme agent réducteur.

Cadmium. — Dans l'extraction du zinc, on observa qu'une vapeur distillait quelquefois avec les premières portions du zinc : on trouva que c'était le cadmium. Ce métal a une couleur blanc d'étain, une structure fibreuse ; il prend un beau

poli. Plus dur que l'étain. il est malléable, ductile et facilement volatil. Il a une densité de 8,6 ; il fond à 320° C. et bout à 860°. Sa vapeur, d'une couleur jaune foncé, a une odeur désagréable. Comme l'étain, il émet un son particulier quand on le courbe. Il est employé pour faire un alliage fusible fondant au-dessous de 100° C. ; un amalgame de cadmium est utilisé par les dentistes ; cet amalgame, mou lorsqu'il est récemment préparé, devient bientôt dur.

Magnésium. — Ce métal est d'un blanc brillant ; exposé à l'air humide, il se ternit bientôt à cause de la formation de magnésie MgO. Il est reconnu comme ayant une grande résistance à la traction, qui est presque égale à celle du bronze d'aluminium. Son poids spécifique est 1,74. A 450° C., il peut être laminé et travaillé sous toutes les formes. Les vis et les écrous faits avec ce métal sont plus fins et plus exacts que ceux d'aluminium. Dans la flamme, il brûle en donnant une lumière éblouissante que l'on a dit voir en mer à une distance de 28 milles. Cette lumière est employée en photographie. Le magnésium se trouve abondamment dans la nature combiné avec d'autres éléments : magnésite CO^3Mg, dolomie $(CO^3)^2MgCa$, etc.

Aluminium.

§ 11. *Aluminium.* — A part l'oxygène et le silicium, c'est l'élément le plus répandu dans la nature ; il entre en très grande quantité dans la composition de la croûte terrestre. Il existe comme oxyde sous une grande variété d'états ; le plus généralement, il est combiné aux autres métaux (zinc, fer, magnésium) formant des aluminates. Dans les argiles, il est à l'état de silicate ; dans la cryolithe, à l'état de fluorure $(6NaF, Al^2F^6)$.

L'aluminium est un métal blanc, prenant un beau poli, sans goût ni odeur. Il est doux, très malléable, ductile, avec une élasticité et une ténacité égales environ à celles de l'argent. Son poids spécifique est 2,5 ; il augmente par le martelage ; il fond vers 650° et n'est volatil que s'il est fortement chauffé à l'air. La conductibilité pour la chaleur et l'électricité passe pour très grande ; mais selon M. Roby, elle serait très faible. Allié au cuivre, il en diminue considérablement la conductibilité. Il ne s'oxyde pas à l'air, et ne se combine pas au soufre ; il est insoluble dans l'acide nitrique ; l'acide sulfurique est sans action. L'acide chlorhydrique et les alcalis le dissolvent facilement.

L'aluminium est très employé pour faire les objets dans lesquels la légèreté est un facteur important. Combinée à son brillant, à son inaltérabilité à l'air et à l'hydrogène sulfuré, à son innocuité et à son travail facile, cette propriété lui donne un très grand intérêt. C'est cependant dans ses alliages que sa plus grande valeur apparaît. Dans quelques cas, il augmente la résistance, dans d'autres il modifie la couleur ou donne de la solidité aux pièces coulées.

Métaux alcalino-terreux.

§ **12.** — Le terme *terres* était autrefois employé pour désigner les corps insolubles ou peu solubles dans l'eau, inaltérables lorsqu'ils sont portés à une haute température. Quelques-uns ont une réaction alcaline et neutralisent les acides, d'où le nom d'*alcalino-terreux*. Ces oxydes, comme la baryte, la strontiane, la chaux et la magnésie, sont des combinaisons d'un métal avec l'oxygène.

Le *baryum* est un métal jaune pâle, malléable et fusible au rouge. Il se ternit rapidement à l'air et brûle avec éclat au

rouge en donnant de l'oxyde de baryum. Son point de fusion, d'après Frey, est voisin de celui de la fonte. Il décompose l'eau rapidement à la température ordinaire. Son poids spécifique est 4.

Le *strontium* a une couleur analogue à celle du baryum ; il est malléable, fusible au rouge ; il s'oxyde vivement à l'air et y brûle avec éclat si on le chauffe ; il décompose l'eau violemment. Son poids spécifique est 2,58.

Le *calcium* est un métal jaune, tenace et malléable ; il fond au rouge, s'oxyde à l'air, et brûle s'il est chauffé ; il décompose l'eau rapidement. Son poids spécifique est 1,58.

Les métaux alcalino-terreux, quoique leurs composés soient très communs, ne se trouvent pas dans la nature à l'état métallique ; ils n'ont d'ailleurs aucune application dans les arts à cause de leur facile oxydation. Ils peuvent être employés pour enlever l'oxygène d'autres métaux et de leurs alliages.

Métaux alcalins (sodium, potassium, lithium, etc.).

§ **13**. — Le mot *alcali* désignait autrefois un sel soluble extrait des cendres des végétaux marins ; il est maintenant appliqué à une classe de corps bien définis ayant les propriétés suivantes. Le tournesol rouge devient bleu ; les acides sont complètement neutralisés ; solubles dans l'eau, leurs solutions exercent une action caustique sur la matière animale. Les alcalis proprement dits sont les oxydes de sodium, potassium, lithium, rubidium et cæsium. On doit y ajouter le radical hypothétique AzH^4, appelé *alcali volatil*, en opposition avec la potasse et la soude. Les métaux de ces alcalis sont mous, difficilement fusibles, volatils, facilement oxydables à l'air ; ils décomposent rapidement l'eau à la température ordinaire.

Sodium. — Ce métal fond à 96°C. et donne une vapeur bleu foncé. Il s'oxyde rapidement à l'air et, fortement chauffé, il brûle avec une flamme jaune. Il décompose l'eau rapidement à la température ordinaire. C'est un métal blanc d'argent avec un poids spécifique de 0,98. Il est employé pour la préparation de l'aluminium, du magnésium, du bore et du silicium. Comme amalgame, on l'utilise dans l'extraction de l'or ; dans les laboratoires, il sert comme agent réducteur. Le sodium se trouve abondamment dans la nature à l'état combiné (chlorure, nitrate, borate, carbonate, silicate).

Potassium. — Cet élément est très analogue au sodium. C'est un métal brillant, blanc d'argent, dont le poids spécifique est 0,86 ; il est cassant à 0°C. Mais à 15°C., il devient mou, malléable et soudable ; il fond à 62°5 C. en un liquide semblable au mercure ; au rouge, il bout et émet une vapeur verte. Il a une grande affinité pour l'oxygène, et décompose l'eau avec un grand dégagement de chaleur. Il est employé pour les mêmes usages que le sodium et se trouve très répandu dans la nature sous le même état.

Lithium. — C'est un élément très diffusé, trouvé dans beaucoup de micas et de feldspaths, dans les cendres des plantes et dans l'eau de la mer. Il a la couleur et le brillant de l'argent ; il est mou et soudable ; il fond à 180°C., est volatil à haute température, brûle avec une flamme blanche. Il s'oxyde rapidement au contact de l'air à la température ordinaire ; son poids spécifique est 0,58 : c'est le plus léger de tous les corps solides et liquides.

Rubidium et cœsium. — Ces métaux rares ressemblent tellement au potassium qu'ils ne peuvent pas en être distingués par beaucoup de procédés ordinaires ; leur présence est décelée à l'aide de l'analyse spectrale.

Nature des alliages.

§ **14.** — Si deux ou plusieurs métaux sont réunis ensemble d'une manière permanente, ils forment un alliage ; si le mercure est un des constituants essentiels, l'alliage est appelé amalgame. La méthode générale d'obtention consiste dans l'emploi de la chaleur ; mais pour certains métaux mous, les alliages peuvent être obtenus en soumettant les corps à une pression considérable, même à la température ordinaire.

Les alliages, comme il a été brièvement indiqué dans l'esquisse historique du début, ont été d'abord obtenus par le traitement métallurgique des minerais mélangés, dont la réduction simultanée donnait lieu à formation d'alliages ; ou dans quelques cas, comme dans les minerais d'or et d'argent, ils étaient obtenus naturellement par simple fusion. La préparation des alliages par simple fusion des métaux constituants a été énormément développée dans les temps modernes, et l'intérêt avec lequel les chimistes étudient cette question n'a jamais été aussi grand en aucune période de l'histoire.

Relativement peu de métaux possèdent des propriétés leur permettant d'être employés seuls dans les arts industriels ; mais la plupart ont des applications très importantes sous la forme d'alliages. Même parmi les métaux qui peuvent être utilisés seuls, il arrive souvent qu'on leur ajoute des autres métaux pour améliorer ou modifier leurs propriétés physiques. Ainsi l'or, par addition de cuivre, est rendu plus dur et résistant à l'usure, en même temps que le prix est abaissé ; l'argent est de même rendu plus dur en l'alliant au cuivre ; la monnaie de bronze est formée par un alliage de cuivre, de zinc et d'étain pour des raisons similaires.

Les raisons pour lesquelles les métaux sont alliés sont aussi variées que les usages des métaux eux-mêmes, mais comme règle, la combinaison est employée pour durcir, rendre plus fusible, changer la couleur, ou diminuer le prix de production. Ainsi les alliages connus sous le nom de soudures, employés pour réunir ensemble les différentes parties d'un ou de plusieurs corps, sont tels qu'ils ont des points de fusion inférieurs à ceux des corps devant être soudés. La classe des bronzes donne un exemple d'alliages dans lesquels on produit différentes couleurs ; ces corps sont composés de cuivre et de zinc en proportions variables, et leur couleur dépend beaucoup de la quantité de cuivre présent. Si le cuivre prédomine, la couleur est jaune ou rougeâtre ; si les deux métaux sont en quantités égales, elle est encore jaune ; cependant si le zinc est en excès, elle devient blanche, ou blanc-bleuâtre, ressemblant à celle du zinc impur. Le nickel est ajouté au bronze pour le blanchir, formant le maillechort.

Avec quelques métaux, comme le cuivre pur, il est difficile d'obtenir des produits sains ; le métal est trop sec pour être convenablement travaillé au tour ou à la lime ; mais si l'on y ajoute du zinc ou de l'étain, on obtient facilement de bons produits, pouvant être laminés, tournés et limés avec une extrême facilité. Dans quelques cas, la résistance à la traction peut être énormément augmentée par l'addition d'un autre métal, même en très petites proportions ; les différents bronzes peuvent être cités comme exemples. L'addition d'un second métal est souvent une source de faiblesse, comme dans le cas de l'antimoine et du plomb. On pourrait croire que l'alliage de deux métaux malléables donne toujours un alliage malléable ; s'il en est ainsi dans certains cas, il en est d'autres où c'est l'opposé qui se produit. Ainsi le plomb allié à l'or en de très petites proportions le rend excessivement sec et cassant.

Le poids spécifique d'un alliage diffère presque toujours de la moyenne des poids spécifiques des constituants, étant tantôt plus grand, tantôt plus faible. Si la densité augmente, il y a eu contraction, et probablement combinaison chimique entre les composants. C'est le cas avec le bronze riche en cuivre ; avec les alliages similaires riches en zinc, il y a dilatation, et le poids spécifique est alors plus faible que la moyenne des densités des métaux. Une des plus grandes difficultés relatives aux alliages est la tendance des constituants à se séparer durant le refroidissement selon leurs poids spécifiques. Comme règle, il est plus difficile d'allier trois ou quatre métaux que deux, surtout si les composants diffèrent beaucoup quant à la fusibilité, à moins cependant qu'il ne puisse se former une combinaison chimique vraie. Le mélange est favorisé par une agitation continuelle lorsque le corps est à l'état liquide, et en versant le métal dans le moule à la plus basse température compatible avec le degré de fluidité.

La plupart des métaux peuvent, dans une certaine étendue, exister à l'état de combinaison chimique les uns avec les autres, mais, comme règle générale, ils s'unissent avec de faibles affinités, car il est nécessaire, pour produire une combinaison énergique, que les constituants aient des propriétés très différentes. Il est probable que les métaux s'unissent en proportions définies, mais il est difficile d'obtenir ces composés à l'état séparé ; ils se dissolvent en toutes proportions dans les métaux fondus, et la différence entre les points de fusion de ces composés et des métaux constituants n'est généralement pas suffisante pour les séparer par cristallisation, dans des conditions définies. Pour ces raisons, on s'est demandé si les alliages étaient des composés chimiques vrais. Les composés définis existent cependant en proportions dé-

finies quant au poids à l'état naturel aussi bien qu'à l'état artificiel. Tel est le cas du mercure et de l'argent que l'on trouve cristallisés ensemble dans la proportion d'un atome d'argent pour deux ou trois atomes de mercure. Un bon exemple de combinaison chimique entre deux métaux est l'alliage de cuivre et d'étain, qui peut être représenté par la formule $SnCu^3$ et qui contient 38,4 pour cent d'étain et 61,6 de cuivre. Il se distingue par une couleur particulière, son homogénéité après des fusions répétées, son aigreur; parmi tous les alliages de ces métaux, il a de plus la densité maxima.

Comme règle générale, il peut être établi que tous les métaux qui se combinent à l'oxygène pour ne donner que des bases ont une grande tendance à s'unir avec ceux dont les oxydes ont un caractère acide; dans chacune de ces catégories, les différents métaux ont peu d'affinité l'un pour l'autre. Ainsi, le potassium et le sodium, quoique miscibles en proportions quelconques, ont peu ou point de tendance à s'unir en quantités définies; de même pour l'antimoine et l'étain. D'autre part, le cuivre et l'étain forment des alliages très stables. Quelquefois, comme dans le cas du plomb et du zinc, les métaux ne peuvent s'allier qu'en proportions très inégales, la plus grande partie se séparant par refroidissement; le plomb retient 1,6 pour 100 de zinc, et le zinc 1,2 pour 100 de plomb. Dans tous les cas des alliages, on ne peut constater cette altération complète des propriétés qui est le caractère distinctif de l'action chimique entre un métal et un métalloïde et les alliages possèdent encore le caractère métallique; mais il y a fréquemment un dégagement considérable de chaleur; les points de fusion sont considérablement abaissés; la densité moyenne est augmentée, la couleur et les autres propriétés physiques sont très modifiées. Cependant, le plus souvent, comme il a déjà été indiqué, la plupart des alliages semblent être des

mélanges de composés définis, avec un excès de l'un ou de l'autre métal, et la séparation des composants est généralement effectuée avec facilité par des moyens simples. Ainsi un alliage de plomb et de cuivre peut être facilement séparé en l'exposant à une température supérieure au point de fusion du plomb, mais inférieure à celui du cuivre; le plomb se liquate, laissant une masse poreuse de cuivre contenant un peu de plomb. Dans la refonte des bronzes, une quantité considérable de zinc est perdue par volatilisation. L'amalgame d'argent se dissout dans un excès de mercure qui peut être chassé par simple pression; de plus la quantité de mercure amalgamé peut être complètement séparée sous l'influence de la chaleur.

Beaucoup de métaux se combinent ensemble s'ils sont fondus, et l'union n'a lieu qu'entre certaines limites de températures, comme cela a été montré par les grandes différences entre les points de fusion et de solidification. Matthiessen considère comme probable que la condition d'un alliage de deux métaux à l'état liquide peut être : 1) ou une solution d'un métal dans l'autre, 2) ou une combinaison chimique, 3) ou un mélange mécanique, 4) ou un cas complexe résultant des trois cas précédents, et que des différences analogues peuvent être observées pour l'alliage à l'état solide. Aussi classifie-t-il les alliages solides composés de deux métaux d'après leur nature chimique de la façon suivante :

I. — Solutions solidifiées d'un métal dans un autre : alliages plomb-étain, cadmium-étain, zinc-étain, zinc-cadmium et plomb-cadmium.

II. — Solutions solidifiées d'un métal dans la modification allotropique d'un autre : alliages plomb-bismuth, étain-bismuth, étain-cuivre, zinc-cuivre, plomb-argent et étain-argent.

III. — Solutions solidifiées des modifications allotropiques des métaux l'une dans l'autre : bismuth-or, bismuth-argent, palladium-argent, platine-argent, or-cuivre et or-argent.

IV. — Composés chimiques des alliages correspondant à Sn^5Au, Sn^2Au et $SnAu^2$.

V. — Solutions solidifiées des composés chimiques l'un dans l'autre : alliages intermédiaires entre ceux correspondant aux formules ci-dessus.

VI. — Mélanges mécaniques de solutions solidifiées d'un métal dans l'autre : alliages de plomb et de zinc contenant plus de 1,2 pour 100 de plomb et plus de 1,6 pour 100 de zinc.

VII. — Mélanges mécaniques de solutions solidifiées d'un métal dans la modification allotropique d'un autre : alliages de zinc et de bismuth contenant plus de 14 pour 100 de zinc et plus de 24 pour 100 de bismuth.

VIII. — Mélanges mécaniques de solutions solidifiées des modifications allotropiques de deux métaux l'une dans l'autre : la plupart des alliages argent-cuivre (1).

Comme il a déjà été dit, beaucoup de mélanges dont les composants s'unissent à l'état liquide, se séparent plus ou moins par le refroidissement. En fait, une masse refroidie d'un alliage se comporte souvent comme l'eau contenant une matière en suspension, lorsque la glace d'abord formée rejette cette matière étrangère ; de même la portion d'un alliage qui se solidifie d'abord rejette certaines autres portions des métaux constituants. Ainsi un mélange de plomb, antimoine et cuivre coulé dans un moule cylindrique, commençant à se refroidir, montrera, si on le brise, que pendant que le cuivre et l'antimoine se sont unis, le plomb a été rejeté vers le cen-

(1) Matthiessen, *Brit. Assoc.*, 1863.

tre de la masse. Un mélange de plomb et de zinc se comporte d'une manière similaire ; de même pour les alliages de cuivre et d'argent, mais dans ces derniers, il se forme un alliage particulier de cuivre et d'argent qui se réunit intérieurement ou extérieurement suivant que c'est le cuivre ou l'argent qui est en excès dans le bain. Dans tous les cas, la séparation n'est jamais complète, une petite quantité au moins de l'autre métal étant fondue dans chacune des portions des constituants séparés. La masse solide dans les trois cas cités est un mélange de solutions solidifiées des métaux l'un dans l'autre (1).

Le Dr Guthrie, il y a quelques années, apporta beaucoup d'attention à ce sujet, et conclut que certains alliages par refroidissement se comportaient comme une masse refroidie de granit. Le granit entièrement fondu donnerait lieu à la formation de corps *atomiquement définis*, laissant une masse fluide, non définie en décomposition, de même que le quartz et le feldspath se solidifient avant le mica. Le même phénomène a lieu pendant le refroidissement des alliages : si un mélange de plomb et de bismuth, ou de bismuth et d'étain, se refroidit, un certain alliage des métaux se sépare, laissant le plus fusible que Guthrie appelle *alliage eutectique*. C'est l'alliage le plus fusible de la série, mais les proportions entre les métaux constituants ne sont pas en proportions atomiques, et Guthrie dit : « la notion préconçue que l'alliage de température minimum de fusion doit avoir ses constituants en proportions atomiques simples et être un composé chimique, semble avoir trompé les savants, et l'hypothèse que certains métaux peuvent s'unir et s'unissent avec un autre suivant les petits multiples des poids mis en présence peut

(1) Roberts-Austen, *Journal of Society of Arts*, 1888, p. 1115.

être admise ; la constitution des alliages *eutectiques* n'est pas dans le rapport d'un multiple simple des équivalents chimiques des constituants, mais leur composition n'en est pas moins fixée, ni leurs propriétés moins définies (1) ».

« Matthiessen considère que les conductibilités calorifique et électrique sont parmi les caractères des alliages ceux qui sont les mieux connus pour indiquer leur nature chimique. D'après la conductibilité électrique, il divise les métaux en deux classes :

« A. — Métaux qui, alliés l'un à l'autre, conduisent l'électricité dans les rapports de leurs volumes relatifs ; plomb, étain, zinc, cadmium.

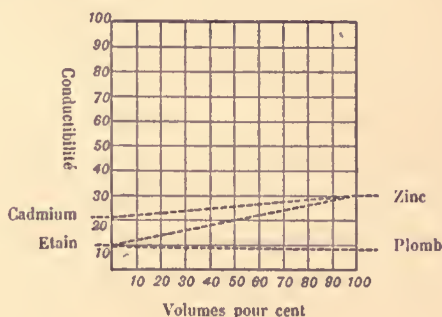


Fig. 1.

« B. — Métaux qui, alliés l'un à l'autre ou avec un métal de la classe A, ne conduisent pas l'électricité dans les rapports de leurs volumes relatifs, mais toujours dans un degré moindre que celui calculé au moyen de leurs volumes : bismuth, antimoine, platine, palladium, fer, aluminium, or, cuivre, argent, etc.

« Les courbes représentant la conductibilité de différentes séries d'alliages sont les suivantes :

(1) *Phil. Mag.*, juin 1884, p. 462.

« Groupe I. — Les courbes appartenant aux alliages des métaux de la classe A sont presque des lignes droites ; celle de l'alliage plomb-étain est donnée comme exemple (fig. 1).

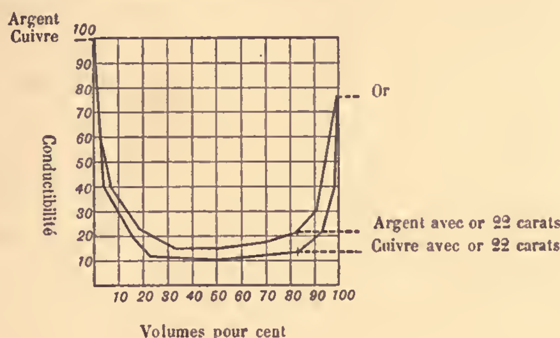


Fig. 2.

« Groupe II. — Les courbes des alliages des métaux de la classe B montrent une rapide décroissance des deux côtés de la courbe, les points inférieurs étant réunis ensemble par

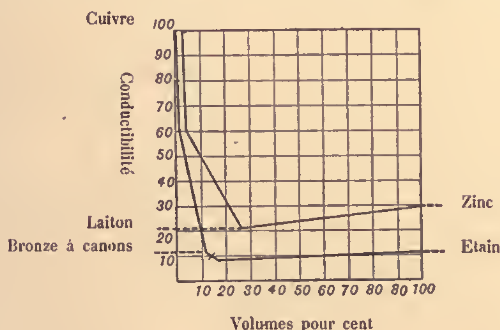


Fig. 3.

des lignes presque droites. Celle des alliages or-argent est donnée comme exemple (fig. 2).

« Groupe III. — Les courbes des alliages des métaux de la classe A avec ceux de la classe B montrent une rapide dé-

croissance sur le côté, commençant avec le métal de la classe B, puis tournent et vont en ligne droite à l'autre côté commençant avec le métal de la classe A. La courbe des alliages étain-cuivre est donnée comme exemple (fig. 3).

« Si les alliages du premier groupe étaient des mélanges mécaniques, les métaux les composant, à moins que leurs poids spécifiques ne soient les mêmes, se sépareraient en deux couches s'ils étaient fondus et refroidis lentement, comme dans le cas des alliages plomb-zinc. Mais les alliages de plomb et d'étain, par exemple, ne se séparent pas comme ceux de plomb et de zinc. De plus, des fils homogènes ne pourraient pas être obtenus par pression, si ces alliages étaient des mélanges mécaniques ; or les fils de ces alliages ont le même pouvoir conducteur, s'ils sont pris au commencement ou à la fin de l'opération.

« D'autre part, la concordance entre la conductibilité théorique et actuelle de ces alliages, aussi bien que celle entre la décroissance pour 100 calculée et actuelle de la conductibilité entre 0° et 100°, indique qu'à l'état solide, il n'y a pas de composés chimiques. A cause de ces particularités, la loi suivante peut être appliquée aux alliages des deux premiers groupes et à quelques-uns du troisième :

« *La décroissance actuelle pour cent de la conductibilité entre* 0° *et* 100° *C. est à la décroissance calculée comme la conductibilité actuelle est à la conductibilité calculée.*

« Parmi les alliages du second groupe, quelques-uns peuvent être regardés comme des mélanges mécaniques. L'argent et le cuivre, fondus et bien mélangés ensemble, se séparent si le refroidissement est lent, de sorte que la masse contient des quantités différentes des métaux en différents endroits. Mais ces alliages sont exceptionnels, et la plupart des alliages de ce groupe peuvent être considérés comme des

solutions solidifiées des modifications allotropiques des métaux l'une dans l'autre.

« Dans le troisième groupe, la rapide décroissance de la conductibilité des alliages de quelques séries qui ne contiennent que de très petites quantités d'un métal appartenant à la classe A, ne peut pas être attribuée à l'existence de composés chimiques des métaux.

« Car, d'abord, la quantité de l'un des métaux dans les alliages correspondant aux points tournants des courbes représentant la conductibilité est trop petite :

Alliage :	*Proportion pour cent :*	
Bismuth-étain.	Etain.	0,6
Bismuth-plomb.	Plomb	2,0
Argent-étain.	Etain	2,6

« De plus, la grande similitude des courbes représentant la conductibilité des séries d'alliages appartenant à ce groupe est opposée à l'existence de composés chimiques dans les alliages solides.

« L'influence exercée sur la conductibilité des métaux par la présence de petites quantités d'autres métaux n'apparaît pas, en aucune façon, comme étant déterminée par l'altération de la forme cristalline ou la tendance à cristalliser, qui sont reconnues être influencées dans cette circonstance.

« S'il est admis que les métaux appartenant à la classe B subissent un changement moléculaire quand ils sont alliés avec un autre, ou avec des métaux appartenant à la classe A et que dans chaque cas une condition allotropique est occasionnée par une petite quantité d'autres métaux et varie avec les différents métaux, on peut alors expliquer beaucoup des phénomènes caractéristiques des alliages. Ainsi la courbe représentant la conductibilité des alliages zinc-cuivre a la même

forme que celles des autres alliages appartenant au même groupe, et la décroissance pour 100 dans leur conductibilité entre 0° et 100° C. est exactement celle indiquée par la loi énoncée ci-dessus. De là, il peut être conclu que les alliages solides de zinc et de cuivre ne sont que des solutions solidifiées de zinc et de cuivre allotropique l'un dans l'autre. L'action différente des réactifs sur les alliages et sur les métaux les constituant, quand ils sont à l'état libre, peut aussi être considérée pour l'existence de semblables modifications allotropiques quand elles sont alliées, aussi bien que pour l'existence des combinaisons chimiques des métaux (1). »

Laitiers, flux et matériaux réfractaires.

§ **15.** *Laitiers.* — Les laitiers formés dans les opérations métallurgiques sont en général produits par l'union de la silice avec les oxydes métalliques, et désignés sous le nom de silicates. Les silicates peuvent être divisés en deux groupes : les silicates *hydratés* qui contiennent de l'eau et les silicates *anhydres* qui sont exempts d'eau. Les silicates produits par la chaleur dans les opérations métallurgiques appartiennent à la dernière classe. Les bases qui se trouvent le plus souvent dans les laitiers de fusion sont la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer et l'alumine. La silice et la base proviennent à la fois de la matière terreuse du minerai, des cendres du combustible, du flux et des matériaux avec lesquels sont construits les fourneaux ou les vases. En fondant et mélangeant les métaux ordinaires pour faire des alliages, quelques-uns de ces éléments s'oxydent et passent dans le laitier, et forment souvent les principales bases se combinant à la silice ou à d'autres substances acides.

(1) Watt, *Dict. de Chimie,* vol. III, p. 943 et 944.

Les silicates qui se forment le plus fréquemment sont ceux à base de fer ; le plus fusible est le protosilicate $2FeO,SiO^2$. Le protosilicate de manganèse semble avoir à peu près le même point de fusion que celui du fer ; il a une couleur vert-olive, il est opaque, mais légèrement cristallin. Au contact de l'air, il n'absorbe pas l'oxygène comme les silicates de fer, et ne peut pas alors être employé comme agent oxydant. Un silicate contenant deux ou plusieurs bases est souvent plus fusible qu'un silicate simple. De là, un silicate composé de chaux, magnésie, alumine, etc., est plus fusible que celui résultant de l'union d'une seule de ces bases à la silice ; il fondra plus facilement s'il est fortement chauffé. De même, l'oxyde de manganèse augmente la fusibilité des silicates terreux.

L'oxyde de zinc forme des silicates simples, pratiquement infusibles, et comme règle générale, cet oxyde diminue la fusibilité des silicates de fer, de chaux, etc. Le protoxyde d'étain augmente la fusibilité des silicates multiples. Les proto et bisilicates de cuivre fondent facilement ; ils augmentent la fusibilité des silicates terreux.

L'oxyde de cuivre est facilement séparé, spécialement en présence du sulfure d'arsenic avec lequel il forme un régule. Les oxydes de plomb et de bismuth sont, après les alcalins, les bases les plus fusibles.

Les silicates de plomb fondent au rouge. L'oxyde de plomb augmente la fusibilité des silicates multiples, mais il est facilement réduit par la présence du fer métallique.

Les laitiers sont ou vitreux ou pierreux, et souvent ils sont plus ou moins cristallins. Un refroidissement rapide tend à produire la variété vitreuse, tandis qu'un refroidissement lent donne la structure cristalline. L'état pierreux se rencontre surtout dans les laitiers où les bases terreuses prédomi-

nent. En formant des laitiers lors de la fusion des métaux, on a pour but de produire des composés fusibles qui contiennent les impuretés que l'on veut éliminer, en même temps qu'on les veut exempts aussi bien que possible des métaux ou des substances métallifères subissant la préparation. Si le laitier ne contient pas les métaux utiles, il est dit pur ; mais s'il renferme des matières utiles, il est souvent prudent de le refondre avec une autre charge pour extraire les composés ayant de la valeur et le rendre suffisamment pur pour être rejeté. Il arrive fréquemment que les laitiers produits dans une opération avec une espèce donnée de matière métallifère sont employés comme flux ou autre agent dans l'extraction ou la fusion de différents autres métaux.

Si la charge est mal préparée, et si le silice et la chaux prédominent, ou si la quantité d'alumine et de magnésie est très grande, ou la température insuffisante, les laitiers sont imparfaitement fondus et présentent une cassure granuleuse.

§ **16**. *Flux.* — Un flux est une substance que l'on ajoute à la matière métallifère, afin de former un laitier fusible. Le flux employé varie dans chaque cas avec la nature du corps que l'on veut éliminer. Ainsi, si l'impureté est de nature acide, comme la silice, le flux sera basique ou neutre. Si d'autre part on doit séparer une substance basique, on emploiera un flux acide. Dans beaucoup de cas de fusion de métaux, il est désirable de séparer des métaux étrangers, présents comme impuretés ; il faut alors ajouter un agent oxydant afin d'oxyder d'abord ces impuretés qui se combinent facilement avec un flux acide pour former un laitier liquide, ou se volatilisent, ou simplement montent à la surface en vertu de leur poids spécifique plus faible.

Il arrive fréquemment qu'un laitier est formé à un moment

de l'opération et décomposé ensuite par l'action de quelque réducteur présent. Les silicates les plus difficiles à réduire sont ceux dont les bases sont terreuses, comme la chaux, la magnésie, l'alumine, etc. Si un laitier contient plusieurs oxydes, les bases les plus faibles sont d'abord réduites, puis les autres dans l'ordre de leur basicité. Par exemple, soit un silicate contenant les oxydes de manganèse, de fer, d'étain et de plomb ; l'oxyde de plomb sera d'abord réduit, puis celui d'étain, celui de fer, et enfin celui de manganèse. La composition des silicates a une influence marquée sur leur consistance à l'état fondu. Les bisilicates, ou silicates avec excès d'acide, passent graduellement de l'état solide à l'état liquide, ou inversement de l'état liquide à l'état solide ; pendant longtemps, ils conservent une consistance *visqueuse* ou *plastique*. Les protosilicates ou silicates basiques, au contraire, passent plus ou moins facilement de l'état liquide à l'état solide, et par le refroidissement, ils se solidifient rapidement. Ils sont très liquides quand ils sont fondus et se craquellent au moment de la solidification.

Les silicates les plus fusibles sont formés par la silice et les bases fusibles, comme la soude, la potasse, l'oxyde de plomb, l'oxyde de bismuth, et la fusibilité du silicate formé est proportionnelle à la quantité de base présente. Avec les bases infusibles, au contraire, la fusibilité est plus grande s'il n'y a en excès ni base, ni acide. La baryte BaO est plus fondante que la chaux CaO, et la magnésie MgO encore moins que la chaux ; l'alumine Al^2O^3, de toutes les bases communes, est celle qui l'est le moins.

Le fluorure de calcium CaF^2 est très recherché comme flux. A haute température, il fond en un liquide transparent. Il est partiellement décomposé par la silice, avec mise en liberté de gaz fluorure de silicium, mais la plus grande partie se re-

trouve dans le laitier dont il favorise la fusion et la fluidité. Si l'on traite les sulfates de chaux, de baryte, de strontiane, les cendres d'os (phosphate de chaux), le fluorure de calcium est spécialement recherché ; un dixième de ce fondant est suffisant pour liquéfier le sulfate de plomb au rouge clair.

Le soufre est souvent présent dans les matières métallifères, sous la forme de sulfures, comme le sulfure d'argent par exemple. Dans ce cas, on peut employer le plomb métallique qui décompose le sulfure d'argent en donnant du sulfure de plomb et de l'argent qui se combine à l'excès de plomb. De même, le fer décompose le sulfure de plomb en formant du sulfure de fer et du plomb métallique. Les métaux des terres alcalines ou alcalino-terreuses sont très efficaces en déplaçant le soufre des sulfures métalliques. Les métaux sont ainsi obtenus en réduisant leurs oxydes par une substance carbonée mélangée au sulfure métallique. Dans ce cas, il se forme généralement un sulfure alcalin en même temps que l'oxyde du métal. Quelquefois la décomposition du sulfure métallique est incomplète. Certains sulfures, comme le sulfure de zinc, sont rendus fusibles par l'addition de sulfure de fer ou de pyrites de fer. Beaucoup de sulfures sont fusibles seuls, et dans la plupart des cas, il est facile de les transformer en oxydes par grillage à l'air atmosphérique, ou par fusion avec un flux oxydant.

Si la litharge PbO est fondue avec des sulfures et des arséniures, les acides sulfureux et arsénieux se volatilisent, et il se forme un alliage des métaux avec le plomb. D'autres oxydes métalliques agissent de même, mais en règle générale, le sulfure est plus ou moins converti en oxyde, suivant la quantité d'oxyde employé, les caractères relatifs des métaux, la quantité de soufre et d'oxygène.

Le carbonate de plomb agit sur les sulfures comme l'oxyde.

Le silicate de plomb est aussi un oxydant, mais à un moindre degré que les laitiers produits contenant deux métaux. Le sulfate de plomb est plus oxydant que la litharge ; quand il est fondu en proportions convenables avec le sulfure de plomb, la totalité du plomb est réduite. Les sulfates de cuivre et de fer sont généralement des agents oxydants pour les sulfures. Les nitrates, comme le salpêtre AzO^3K, sont les oxydants les plus puissants dans les opérations de fusion. Les laitiers de fer basiques sont des agents très actifs pour commencer l'oxydation. Par exemple, si du fer contenant du carbone, du silicium, du soufre et du phosphore est fortement chauffé avec un silicate basique de fer, ces impuretés sont facilement oxydées et donnent de l'oxyde de carbone, de la silice, de l'acide sulfureux et de l'acide phosphorique.

On trouvera ci-dessous une liste des flux les plus employés, avec un court exposé de leurs propriétés et de leurs usages :

1° *Chlorure d'ammonium* (AmCl) ou sel ammoniac. — Cette substance est décomposée par quelques métaux en formant des chlorures et mettant en liberté de l'ammoniaque ; elle est avantageusement utilisée dans la purification de l'or. Une réaction semblable a lieu avec quelques autres sels métalliques.

2° *Chlorure de sodium* (NaCl) ou sel ordinaire. — Il est employé pour protéger la substance contre l'action de l'atmosphère et modérer l'action de corps qui causent une violente ébullition. Il fond et se volatilise au rouge dans un creuset ouvert, mais il demande la température du blanc dans un vase fermé. Chauffé au rouge avec de la silice, il donne un silicate facilement fusible. Il forme des composés fusibles avec l'antimoine et l'arsenic, les séparant ainsi d'autres métaux pendant une opération d'affinage. Comme les cristaux décrépitent quand ils sont chauffés, on doit pulvériser le sel avant de l'employer comme flux.

3° *Borax* ($B^4O^7Na^2$). — Sous la forme cristalline il peut contenir 5 ou 10 molécules d'eau, qui est éliminée par la chaleur ; la masse augmente alors beaucoup de volume, de telle sorte que la forme vitreuse est préférable pour son emploi. Il forme des composés fusibles avec la silice et avec presque toutes les bases, étant spécialement employé avec les oxydes métalliques, les sulfures et les arséniures. Le sel commercial est falsifié avec du sel ordinaire et de l'alun.

4° *Carbonate de sodium* (CO^3Na_2) — Ce sel a la propriété d'oxyder beaucoup de métaux, tels que l'étain, le fer, le zinc, etc. par l'action de son acide carbonique ; par suite, il agit comme désulfurant. Il forme des composés fusibles avec la silice et beaucoup d'oxydes métalliques ; il fond aussi à basse température, absorbant beaucoup de substances infusibles comme la chaux, l'alumine, le charbon de bois, etc. Quelquefois il agit comme réducteur, dans le cas du chlorure d'argent. Mélangé au carbonate de potasse, il donne un sel double qui fond plus bas que chacun des deux sels pris séparément, propriété très importante dans la fusion des silicates, etc.

5° *Nitrate de potassium* (AzO^3K), nitre ou salpêtre. — Très employé comme oxydant, il fuse au-dessous du rouge, se décompose à une température plus haute ; la grande quantité d'oxygène mis en liberté convertit le soufre des sulfures métalliques en acide sulfureux et transforme les métaux en oxydes. Le nitrate de sodium agit de même.

6° *Bitartrate de potassium*. — ou tartre, ou crême de tartre. Cette substance pure est blanche ; mais la variété ordinairement employée sur une grande échelle est colorée et vendue sous le nom d'*argol* rouge ; elle est relativement bon marché et contient d'autres substances carbonées qui lui donnent un

pouvoir réducteur plus grand que celui de la crême de tartre pure. Ce corps est très apprécié dans les opérations qui demandent beaucoup de matière carbonée.

7° *Chlorate de potassium* (ClO^3K). — Cette substance est employée quelquefois avec le nitre comme oxydant, spécialement dans les essais.

8° *Cyanure de potassium* (KCAz). — Ce flux est très recherché à cause de la facilité avec laquelle il fond et réduit beaucoup de composés métalliques s'ils sont mélangés avec du carbonate de soude. Le cyanure ordinaire est préférable comme agent réducteur, parce qu'il contient du carbonate de potasse.

9° *Oxyde de calcium* (CaO) ou chaux. — Il est employé à l'état caustique ou combiné avec l'acide carbonique sous la forme de carbonate. Il est utilisé comme flux pour la silice et les silicates, et aussi pour séparer le soufre et le phosphore des métaux et de leurs composés.

10° *Fluorure de calcium* (CaF^2) ou spath-fluor. — Cette substance agit comme flux de deux manières différentes : 1° par combinaison avec les silicates, formant des composés solubles ; — 2° par réaction avec les silicates dégageant du gaz fluorure de silicium SiF^4. Elle forme des composés fusibles avec les sulfates, tels que le plâtre de Paris, et avec le phosphate de chaux (cendres d'os). Le spath-fluor doit être exempt de pyrites, de blende et galène, avec lesquelles il est souvent contaminé.

11° *Oxyde de plomb*. — Il y a deux oxydes de plomb, la litharge PbO et le minium Pb^3O^4. Les deux oxydes sont réduits par le carbone et l'hydrogène, et on obtient le plomb métallique. A l'état fondu, les oxydes de plomb oxydent presque tous les métaux, sauf le mercure, l'argent, l'or et le platine. Avec d'autres oxydes, ils forment facilement des com-

posés fusibles. Chauffés avec du soufre, les oxydes de plomb sont réduits avec mise en liberté d'acide sulfureux. Si l'on fond de l'oxyde de plomb en quantité suffisante avec un silicate infusible, on obtient un silicate double fusible.

12° *Bioxyde de manganèse* (MnO^2). — Cette substance est noire, opaque et bonne conductrice de l'électricité. Chauffée seule, elle est infusible, mais dégage de l'oxygène en donnant Mn^2O^3 et Mn^3O^4, selon la température ; chauffée avec du charbon de bois, on a le protoxyde MnO. La facilité avec laquelle ce corps abandonne l'oxygène en fait un agent oxydant de grande valeur. Avec l'acide chlorhydrique, le bioxyde de manganèse est utilisé pour la production du gaz chlore. Chauffé fortement dans un creuset brasqué, il est réduit à l'état métallique.

13° *Silice* (SiO^2). — Ce corps existe à l'état cristallin ou amorphe. La silice est blanche, infusible, excepté aux très hautes températures, non volatile, insoluble dans l'eau et les acides, sauf l'acide fluorhydrique. Après ignition, elle est décomposée par le charbon en présence du fer, du cuivre ou de l'argent au rouge blanc, avec formation de siliciures. Les variétés amorphe et gélatineuse sont légèrement solubles dans les carbonates alcalins ; elles le sont plus facilement dans les alcalis caustiques. La silice se combine avec toutes les bases pour former des silicates, et pour cela, elle est très fréquemment employée pour effectuer la fusion et la séparation des gangues des minerais ; les meilleures espèces à utiliser sont le sable blanc pur et le quartz.

14° *Argile de Chine*. — C'est essentiellement un silicate hydraté d'alumine, et quand il est pur, ce corps peut être représenté par la formule $2Al^2O^3, 3SiO^2 + 3H^2O$. Mais l'argile est généralement mélangée avec d'autres silicates. C'est une substance blanche, infusible dans un fourneau ordinaire si

elle est chauffée seule ; mais elle se combine facilement avec les gangues terreuses et métalliques pour former un laitier fusible.

15° *Verre.* — Le verre est un mélange de silicates de potasse et de soude avec quelque silicate insoluble (baryum, magnésium, aluminium, fer ou plomb). Étant un silicate composé, il fond facilement à haute température, et se combine facilement à la chaux et à d'autres bases contenant peu ou point de silice, de sorte qu'il est souvent préféré à la silice pure et sert à économiser le borax. Il est aussi employé pour couvrir les métaux fondus, de façon à les préserver de l'air. Le verre à vitres ordinaire, le verre vert des bouteilles sont le plus souvent employés ; mais le flint-glass qui contient beaucoup d'oxyde de plomb serait désavantageux dans beaucoup de cas.

16° *Sulfure de fer* (FeS). — Il est principalement employé comme source d'hydrogène sulfuré. Grillé avec des sulfures facilement décomposables comme celui d'argent, il les convertit en sulfates. Chauffé avec les oxydes de cuivre, de nickel, etc., il forme des régules. Chauffé dans l'air, il se transforme en sulfate, et à haute température en oxyde.

17° *Pyrite de fer* (FeS^2). — Ce corps perd la moitié de son soufre au blanc en donnant du sulfure FeS, et est employé pour les mêmes usages que ce dernier. Il est principalement utilisé dans la métallurgie du cuivre, du nickel et du cobalt.

18° *Oxyde ferrique* (Fe^2O^3). — Cet oxyde est très stable, non volatil ; il est rouge. Au blanc, il dégage de l'oxygène en donnant Fe^3O^4. Chauffé avec de l'oxyde de carbone ou avec du carbone, il est réduit à l'état métallique ; mais s'il y a beaucoup d'acide carbonique présent, il peut se faire de l'oxyde ferreux qui se combine avec le peu de silice qui existe pour donner un silicate fusible. Pour cette raison, il est sou-

vent utilisé comme flux. Dans l'affinage du fer, il agit comme oxydant. En présence du soufre, il oxyde cet élément et donne de l'acide sulfureux.

19° *Oxyde de zinc* (ZnO). — C'est une base puissante ; elle forme des combinaisons avec les terres alcalines et quelques bases, et a beaucoup d'affinité pour l'alumine. L'oxyde de zinc est réduit par le carbone, l'oxyde de carbone et l'hydrogène. L'oxyde de zinc et le carbone sont ajoutés en petite quantité au cuivre fondu pour obtenir des produits sains.

Matériaux réfractaires.

§ **17**. — Pour fondre les métaux, on se sert d'un four construit, ou tout au moins garni intérieurement, avec des matériaux capables de résister aux hautes températures sans fondre, ou se ramollir, ou se décomposer par la chaleur. Comme règle générale, l'extérieur est construit en maçonnerie ordinaire, mais l'intérieur est garni de matériaux réfractaires dont la nature dépend beaucoup des opérations pour lesquelles le four est fait. Les matériaux réfractaires sont, ou employés à l'état naturel, comme la silice, l'alumine, l'oxyde de fer, la magnésie, l'argile réfractaire, ou bien ils subissent d'abord une préparation préliminaire. Dans quelques cas, les matériaux sont moulés suivant la forme interne du four. S'ils ne sont pas de nature plastique comme l'argile réfractaire, on les mélange intimement avec du goudron ou d'autres matériaux liants, de façon à leur donner la plasticité nécessaire.

Quartz ou silice. — Cette substance ne se ramollit ni ne fond aux plus hautes températures des fours, et à cause de cela, elle est de première valeur pour la construction interne ; mélangée avec de l'argile réfractaire, elle constitue les briques

de silice ; elle est employée seule pour garnir les soles des fourneaux à réverbère. Le sable n'est pas de la silice pure, mais les petites quantités de chaux, d'oxyde de fer et d'argile qui s'y trouvent généralement ne sont pas un obstacle à son emploi. L'argile de Dina est une substance très réfractaire, que l'on trouve dans la vallée du Neath ; elle contient 97 pour cent de silice, le reste étant de la chaux, de l'oxyde de fer, de l'alumine, de l'alcali et de l'eau. Mélangée avec 1 à 3 pour cent de chaux, elle sert à faire des briques employées avantageusement pour les voûtes de beaucoup de fours à réverbère.

Alumine. — Tout aussi infusible que la silice, elle a l'avantage de ne pas se combiner généralement aux bases ; si elle donne quelquefois des aluminates, ces sels sont moins fusibles que les silicates. Mais l'alumine pure se trouve rarement dans la nature ; on a en grande quantité la bauxite qui, d'après Berthier, contient 52 pour cent d'alumine, 27,6 d'oxyde de fer et 20,4 d'eau ; sa composition varie suivant les échantillons. La variété ordinaire contient 3 à 5 pour cent de silice, 24 à 25 d'oxyde de fer, 50 à 60 d'alumine, 10 à 15 d'eau. Elle est généralement rouge foncé comme les minerais de fer ; mais quelques variétés renfermant peu de fer sont alors blanches et très réfractaires.

Chaux et magnésie. — Ce sont des corps infusibles, à caractère fortement basique, mais ils donnent des composés fusibles avec la silice et d'autres corps acides. Cette propriété est utilisée dans quelques fourneaux à acier, dont l'intérieur est garni de ces oxydes qui s'unissent avec l'acide phosphorique du fer pour donner des phosphates. La chaux et la magnésie se trouvent ensemble dans la dolomie ; on calcine le minerai et on en fait des briques basiques.

Argile réfractaire. — Les corps réfractaires précédemment

décrits peuvent se combiner dans certaines proportions sans cesser d'être réfractaires. L'argile réfractaire est un silicate hydraté d'alumine avec des quantités variables de chaux, magnésie, oxyde de fer, alcalis, etc., et un peu de silice mélangée mécaniquement. La propriété plastique de l'argile est due à l'eau combinée chimiquement. Dans tous les cas, la plasticité disparaît quand l'argile a été cuite ; elle reste alors granulée et friable. Les argiles des terrains houillers, comme celles de Stourbridge, sont admirablement aptes à faire des briques réfractaires quoique manquant de plasticité pour la poterie. En fait, un excès de plasticité est un désavantage pour quelques opérations métallurgiques ; les briques, par exemple, se briseraient après avoir été chauffées un certain temps.

§ **18**. *Creusets*, etc. — Les creusets en terre sont faits d'argile réfractaire mélangée avec du sable, de l'argile cuite, ou d'autres matières infusibles, de façon à contrarier la tendance que l'argile crue possède de se contracter par la chaleur. Les corps ainsi mélangés avec l'argile se dilatent, en ne se contractant pas par la chaleur, ayant déjà été soumis une première fois à son action ; ils agissent ainsi en sens opposé à l'argile. Il faut qu'une telle composition puisse résister aux hautes températures sans se ramollir, ne pas devenir friable par la chaleur, être capable de subir des changements brusques de température sans se briser (par exemple, un creuset chauffé au blanc et sorti du fourneau dans l'air froid).

Quelques creusets doivent résister à l'action corrosive des oxydes métalliques qui se trouvent dans les matériaux traités ou dans les cendres des combustibles, de telle sorte qu'un bon creuset est celui qui est le mieux adapté aux besoins pour lesquels il est construit.

Les parties composantes du creuset sont d'abord finement

pulvérisées et passées à travers un tamis dont la grosseur variera avec la finesse du grain que l'on veut avoir (la plasticité est intimement liée à la finesse des particules ; dans chaque cas, pour les petits creusets, cette finesse du grain paraît être indispensable) ; la poudre est ensuite mélangée à l'eau et pétrie suivant l'usage auquel on destine le creuset. Les meilleurs résultats sont obtenus en employant un mélange de différentes argiles réfractaires, les plus infusibles renfermant la plus grande quantité de silice et le minimum d'oxydes de fer et de chaux. La fusibilité est sensiblement augmentée par la présence en petites quantités de potasse et de soude, qui ont cependant une action efficace en soudant ensemble les différentes particules. La pyrite de fer, qui se trouve fréquemment disséminée dans les argiles, spécialement dans celles provenant des terrains houillers, est peut-être la substance la plus dangereuse. Un creuset fait avec de semblables argiles deviendra crénelé de petites cavités et même de trous, s'il est exposé à l'action prolongée de hautes températures. Il en résulte que les creusets les plus réfractaires sont ceux faits d'argiles pures, analogues à quelques variétés exploitées en France.

La convenance d'une argile pour faire les creusets peut être déterminée en en moulant une portion dans une forme prismatique, ou dans un moule présentant des angles saillants, séchant avec soin, cuisant et exposant à une haute température dans un creuset couvert pendant quelque temps. Si l'argile est très réfractaire, on ne verra aucun signe de fusion ; si les angles sont arrondis, ce sera la preuve d'un commencement de fusion ; s'ils sont fondus, l'argile sera inutilisable.

Les objets d'argile de toute espèce peuvent être essayés pour constater leur pouvoir de résistance à la corrosion, en

les fondant dans un mélange de litharge, d'oxyde rouge de cuivre et de borax, et en notant le temps que ce mélange mettra à les traverser. Ceux qui résistent le plus longtemps à cette action destructive sont les meilleurs. La plupart des creusets sont, par ce moyen, détériorés irrégulièrement, montrant qu'il est nécessaire d'avoir un grain uniforme pour que le creuset résiste le mieux possible.

Tous les creusets doivent être recuits au préalable en les plaçant dans une position retournée au-dessus du fourneau ; autrement ils seraient aptes à se fendre si on les mettait dans un four porté au rouge. J'ai déjà signalé cette tendance à propos des meilleurs creusets en plombagine.

Les creusets de plombagine sont faits avec de l'argile réfractaire mélangée en proportion variable avec du graphite ou du coke pulvérisé. Le bon graphite n'est ni altéré ni fondu sous l'action des plus hautes températures, en l'absence d'air, de sorte que c'est une substance très précieuse pour les creusets. Le graphite est pulvérisé, tamisé et mélangé avec une quantité suffisante d'argile pour le rendre plastique. Les bons creusets de plombagine, après un recuit préliminaire fait avec soin, résistent aux plus grands changements de température sans se rompre, et peuvent être chauffés plusieurs fois de suite.

Si un creuset ordinaire doit être protégé contre l'action corrosive des oxydes métalliques, ou si de petites quantités de composés métalliques ont été réduites, l'intérieur est recouvert d'un enduit de charbon de bois. On mélange, à cet effet, le charbon avec une quantité suffisante d'amidon ; on en fait une pâte que l'on fait adhérer par pression sur la paroi du creuset. Ce dernier est rempli avec la brasque, et on y fait une cavité de grandeur voulue à l'aide d'une pièce de bois de forme triangulaire, puis on unit avec une pièce de

bois ronde et allongée dont la dimension et la forme sont proportionnées à la grandeur de la cavité que l'on veut faire. Plus simplement, la brasque peut être appliquée à l'intérieur du creuset à l'aide de la main.

§ 19. *Briques réfractaires.* — Une brique réfractaire employée pour résister aux hautes températures doit certainement contenir de petites quantités d'alcalis ; ils ne doivent pas excéder 1 pour 100. Glenboig, Stourbridge et Wortley (Leeds) sont les meilleures marques ; elles sont excellentes, quoique bien entendu il y ait d'autres briques pouvant être employées avantageusement, mais elles ont moins de réputation.

Les briques Ganister sont exceptionnellement recherchées pour résister aux très hautes températures dans les parties supérieures des fours à réverbère. Comme les briques faites uniquement de silice, elles ne se brisent pas par refroidissement. La brique Lowood, faite près Sheffield, a aussi une très grande réputation. Les briques Ganister doivent être jointes avec du ciment Ganister. Pour avoir les meilleurs résultats dans la construction, il est préférable de travailler à sec, puis d'apporter les différentes parties ainsi faites au-dessus du sommet du four quand elles sont finies. Aucune brique réfractaire ne donne de résultats satisfaisants si on la travaille avec une argile inférieure à celle qui la constitue ; mais cependant un bon constructeur de fourneau usera aussi peu que possible d'excellente argile.

Les briques Dina sont pratiquement infusibles et composées presque entièrement de silice. La surface de rupture présente une structure grossière et irrégulière d'une couleur brun-clair. La chaux qui y est ajoutée exerce une action fondante sur les particules de quartz, et contribue ainsi à les agglomérer (voir page 67).

M. James Dunnachie, dans un mémoire lu devant l'Association britannique, dit : « La grande variété des usages des briques réfractaires et les différentes qualités qui leur sont demandées, rendent impossible qu'une brique puisse répondre à ce que l'on demande dans un four. On exige qu'elle résiste à une haute température et aux changements de température, dans quelques cas à une forte pression et aux chocs violents, dans d'autres aux actions fondante et chimique de variétés très diverses.

« Une brique, riche en silice, contenant une bonne proportion d'alumine, et aussi exempte que possible d'alcalis et d'autres impuretés, est celle qui réunit, au plus haut degré, les conditions d'infusibilité et de non-rupture. Pour avoir réellement un bon four, il faut tout d'abord se procurer les meilleurs matériaux pour sa construction ; mais après cela, il faut savoir comment il est construit. Si nous étions aussi soucieux des courbes de nos fourneaux que des lignes de nos navires, et particulièrement de la qualité des matériaux employés et de la main-d'œuvre vu l'importance du travail, nous pourrions, dans beaucoup de cas, doubler la durée de nos fourneaux, sans attendre les découvertes possibles de l'avenir. »

Les analyses suivantes donneront la composition des matériaux employés en Angleterre pour la construction des fours :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	K^2O et Na^2O	TiO^2
Briques réfractres (Glenboig)	64,41	30,55	1,70	0,69	0,64	0,55	1,33
» (Stourbridge)	73,05	22,40	2,43	0,39	0,54	1,09	»
» id.	77,63	19,48	1.29	0,18	0,31	0,91	»
» (Newcastle)	73,30	20,56	1,69	1,55	0,72	2,50	»
» id.	58,00	36,50	1,67	0,58	0,82	2,42	»
» (Pensher)....	65,10	30,03	2,00	0,45	0,51	2,04	»
» (Flintshire)..	88,10	4,50	6,10	1.2	»	»	»
» (Leeds)......	77,30	19,17	1,43	0,45	0,63	1,20	»
» id.	72,65	23,75	1,75	0,30	0,36	0,90	»
» id.	67,40	25,36	2,00	1 12	0,72	2,47	»
» (Ecland).....	62,33	35,59	1,25	0,73	0,10	»	»
Briques de Ganister (Lowood)	96,32	0,99	0,71	1,28	0,25	0,26	»
» (Witton).	94.80	0,89	1,10	2,85	0,32	0,30	»
Briques de Dina (Galles)....	95,16	0,42	0,33	2,96	0,28	0,29	»
						MnO	
Dolomie brûlée (Raisby Hill)	5,60	2,35	1,70	54,56	34,18	1,2	»
Ganister (Lowood)...	89,55	4,85	1,26	»	0,80	3,52	»
» (Weardale)..	85.53	9,10	0,64	0,73	0,40	1,05	»

Préparation et propriétés des alliages.

§ 20. — Le mode de préparation varie beaucoup suivant la nature des métaux employés. Quelques métaux sont volatils, et passent facilement à l'état de vapeur quelques degrés au-dessus de leurs points de fusion. D'autres ont peu de tendance à se vaporiser et peuvent être chauffés à de hautes températures sans volatilisation sensible. Si un métal volatil doit être allié à un autre non volatil, et si les points de fusion sont sensiblement les mêmes, la combinaison peut être facilement faite en mélangeant les constituants et les fondant ensemble dans le même creuset ou le même fourneau. Ce cas est cependant l'exception, et en règle générale, les composants d'un alliage, un ou plusieurs étant volatils, ont des points de fusion très différents ; on fond alors d'abord le plus difficile des constituants, les autres étant ajoutés à l'état solide. Un alliage peut contenir un ou plusieurs métaux fixes,

et un volatil ; dans ce cas, le plus volatil est ajouté dans le creuset après que le ou les métaux fixes ont été fondus, et élevés à une température suffisante pour que le constituant volatil fonde dès son introduction dans la masse liquide ; de cette façon, la combinaison peut être effectuée sans perte sérieuse due à la volatilisation.

L'union entre les composants d'un alliage est plus parfaitement assurée en remuant le tout avec un agitateur, le meilleur dans beaucoup de cas étant un instrument en bois ou en charbon, de façon à provoquer le mélange sans introduire aucune substance pouvant modifier ni la composition ni les propriétés de l'alliage.

Dans la fusion des métaux ordinaires, ou dans celle des alliages contenant ces métaux comme principaux constituants, il faut se préserver de l'oxydation. Différents procédés permettent d'éviter la perte du métal et de préserver l'alliage de cette altération. Le plus ordinaire consiste à couvrir le métal avec du charbon qui ne garantit pas seulement de l'air admis dans le fourneau, mais tend à absorber l'oxygène exclu des métaux pendant la fusion. Le gaz ainsi formé par l'union du carbone et de l'oxygène est de l'oxyde de carbone CO, et ce gaz étant réducteur peut fixer un autre atome d'oxygène pour donner de l'acide carbonique CO^2. Ainsi, aussi longtemps que le mélange est couvert avec du carbone, l'oxyde de carbone formé le protège efficacement de l'oxydation. Dans la méthode précitée où l'on agite la masse avec une baguette de charbon, le même gaz oxyde de carbone est formé ; la bagutte ne provoque pas seulement l'agitation mécanique, mais elle donne naissance à un gaz qui protège le métal de l'oxydation, dans une grande mesure.

Dans quelques cas, ceci n'est pas admissible. Les métaux commerciaux étant impurs, il peut être nécessaire d'intro-

duire une quantité suffisante d'oxygène provenant soit de l'air, soit d'un agent oxydant spécial ajouté au flux, pour convertir les impuretés en oxydes ; ces oxydes ne s'allient pas aux métaux, mais entrent en combinaison avec le flux pour former un laitier ; quelquefois, ils flottent à la surface comme écume. Dans la plupart des cas, il est convenable que le corps couvrant les métaux n'exerce aucune influence sur ceux-ci.

Quelques manufacturiers ont l'habitude de jeter de la graisse et de la résine sur les métaux chauffés, avant la fusion. Ces corps sont décomposés par la chaleur et dégagent des gaz qui provoquent la combinaison des métaux fondus en produisant une agitation mécanique au moment de leur départ. Ils agissent aussi chimiquement en déplaçant l'oxygène par l'union de cet élément avec le carbone et l'hydrogène devenus libres. Lorsque le dégagement gazeux a cessé, il reste du carbone à l'état finement divisé qui couvre les métaux et les protège de l'oxydation.

Le borax est quelquefois employé pour chasser l'air, mais il est beaucoup plus cher que le carbone ; son emploi présente de plus quelques inconvénients. Le borax est formé par la soude combinée à l'acide borique, qui n'est que partiellement saturé par l'alcali ; l'excès d'acide s'unit avec l'oxyde métallique présent pour former un borax double, de nature vitreuse. Le borax commercial est souvent très impur, et est falsifié avec le sel ordinaire et l'alun ; ces impuretés sont très mauvaises pour beaucoup de métaux. Le chlorure de sodium est aussi employé pour préserver les métaux fondus de l'oxydation, et modérer l'action de corps pouvant causer une violente ébullition. Le verre est fréquemment utilisé dans le même but, et en présence du carbone, il est très dangereux pour les métaux. C'est un mélange de silicates fon-

dant à haute température, formant des composés avec la chaux et les autres bases, de telle sorte qu'il agit presque comme le borax, si on est obligé d'employer un tel flux. Le verre à vitres et le verre vert à bouteilles sont les plus utilisés, mais le flint-glass, qui contient beaucoup d'oxyde de plomb, serait désavantageux dans beaucoup de cas.

La nature des alliages métalliques a déjà été discutée ; nous avons montré que certaines proportions des constituants entraient en combinaison, d'autres parties étant simplement à l'état de mélange ou de solution ; par un refroidissement progressif, différentes couches tendent à se faire, d'après les densités respectives. Ceci est spécialement le cas lorsque les constituants ont des densités très différentes, de sorte que plus haute sera la température de l'alliage à sa sortie du fourneau, plus longue sera la période de refroidissement et plus grandes seront les facilités de séparation. Pour obvier à cet inconvénient, le métal sera constamment agité, versé dans les moules à la température la plus basse, la masse étant encore cependant suffisamment fluide, et refroidi aussi rapidement que la nature de l'alliage et ses applications le permettent. Un alliage fond à une température inférieure à celle du plus réfractaire des constituants ; il fond quelquefois plus bas que l'un quelconque des composants ; cette connaissance permettra à l'opérateur de régulariser la température de façon à ne pas trop chauffer.

Il est bien connu que le caractère de beaucoup d'alliages est altéré par des fusions répétées, et que la matière ainsi obtenue ne peut pas être à nouveau utilisée sans l'addition d'une certaine quantité de métal neuf. Un mélange donné peut être employé pour l'obtention d'un alliage très malléable, ductile et tenace, et le lingot du même alliage, s'il est refondu, peut être cassant et non susceptible d'être travaillé ;

mais si une quantité convenable de métal neuf est ajoutée, la combinaison peut donner un alliage, même supérieur à l'alliage initial, quant à ses propriétés relatives au travail. C'est l'avantage du manufacturier de chercher les économies, en employant autant de résidus qu'il lui est possible en les alliant ; la quantité ainsi employée varie d'un tiers à deux tiers du poids. Bien entendu, en utilisant le vieux métal, on risque d'introduire plus d'impuretés qu'avec du métal neuf, et quoique les mêmes impuretés puissent exister dans le métal neuf, les quantités peuvent être insuffisantes pour produire un effet nuisible ; mais si on augmente le vieux métal, les proportions peuvent être telles que les propriétés physiques de l'alliage seront entièrement altérées. La présence de quantités notables de matières étrangères est généralement accusée par l'augmentation de la dureté et une modification de la structure, ce que l'on voit sur une rupture récemment faite.

La difficulté de maintenir l'uniformité dans un alliage après des fusions répétées est moindre si l'on n'a que deux métaux ; elle augmente avec le nombre des constituants. Ainsi le maillechort demande beaucoup plus de soin que le bronze, et une soudure contenant du plomb et de l'étain exige moins de précaution qu'un alliage fusible contenant du bismuth ou du cadmium avec du plomb et de l'étain. Les alliages qui contiennent comme constituant essentiel un métal volatil, comme le zinc ou l'antimoine, sont généralement plus altérés par une refonte, et il est nécessaire de connaître, au moins approximativement, ce qui se perd par la chaleur, de façon à pouvoir ajouter une quantité de métal neuf pour maintenir la vraie composition. Beaucoup d'erreurs proviennent de cette cause, aussi bien que de ne pas faire ce qui doit être fait. Si possible, une analyse chimique est le meilleur moyen de résoudre le problème, mais comme ceci est souvent

difficile, quelques simples essais faits en pesant les quantités et en observant soigneusement les résultats obtenus (examen de la malléabilité, de la couleur et de la cassure) permettront généralement de déterminer la quantité devant être ajoutée.

Pour ces expériences, un petit fourneau analogue à ceux employés dans les laboratoires métallurgiques, une forte paire de laminoirs à main, une enclume seront très utilement adjoints à chaque fonderie. La quantité de métal n'excédera pas une livre en poids, et comme une seule opération suffira, on pourra facilement essayer le produit obtenu au point de vue du martelage et du laminage. De telles pièces d'essai, convenablement étiquetées et conservées, seront très commodes pour les opérations futures, et il n'est pas douteux qu'on aura ainsi une grande quantité de renseignements qui permettront de réaliser un grand bénéfice sur la main-d'œuvre et sur la production. Il est fréquent de trouver, après qu'une quantité de métal a été alliée et qu'on en a fait des lingots, que l'alliage ne convient pas, soit par suite du mauvais mélange des constituants, soit parce que les matériaux sont impurs ; cet ennui pourrait être évité par quelques essais préliminaires sur une petite échelle. La coulée des pièces d'essais pourra avoir lieu dans un moule en fer ou en sable, le temps de refroidissement étant approximativement égal à celui d'une grande masse. Un autre avantage de cette méthode expérimentale serait que les nouvelles combinaisons pourront être facilement examinées, et l'effet de certaines impuretés sur des alliages connus bien déterminé, par l'addition de ces corps en quantités définies à une quantité pesée de l'alliage.

Les qualités demandées aux alliages varient à l'infini. Quelques-uns doivent avoir une grande malléabilité, d'autres une grande dureté. Certains doivent posséder un haut degré

d'élasticité, pendant que d'autres sont employés à cause de leur point de fusion qui est peu élevé, etc. Ces différents desiderata ne peuvent s'obtenir que par l'union de métaux convenables en proportions différentes.

Les métaux le plus souvent employés pour les alliages sont ceux qui sont le plus anciennement connus (cuivre, zinc, plomb, étain, or et argent) ; et quoique les combinaisons de ces métaux aient été connues et employées depuis très longtemps, ce n'est que durant la dernière moitié de ce siècle que leurs propriétés intimes ont été entièrement étudiées. En vérité, nos connaissances actuelles sur les alliages sont moindres qu'en toute autre branche de la science chimique, quoique nos méthodes de recherches puissent les augmenter ; cependant cette étude ne sera pas d'un intérêt commercial immédiat, à moins que par l'observation des propriétés physiques des alliages, on ne puisse en perfectionner les procédés pratiques de travail. Le nombre des métaux simples employés est très limité, mais ils peuvent être mis en proportions variées, formant une série indéfinie de modifications ; et comme chaque alliage peut être considéré comme un nouveau métal, par le fait que ses propriétés diffèrent de celles de ses constituants, nous avons ainsi le matériel nécessaire pour produire des métaux susceptibles de recevoir une application déterminée. L'action des métaux les uns sur les autres varie beaucoup ; quelquefois un métal peut être ajouté à un autre en quantité quelconque sans modifier sérieusement ses propriétés ; dans d'autres cas, une petite quantité d'un second métal changera totalement le caractère du premier. Dans la fabrication des alliages, de ce qu'un métal peut être librement ajouté à un autre, on ne pourra donc pas conclure qu'un métal de nature similaire pourrait de même être introduit. L'homme qui aspire à faire de nouveaux alliages ou qui espère

produire des métaux pour un emploi défini devra donc connaître la nature et les propriétés des métaux simples afin de pouvoir atteindre le but proposé ; et quoiqu'une connaissance scientifique des composants ne soit pas suffisante en elle-même, l'opérateur qui, en même temps que la pratique, possédera des données théoriques, aura un immense avantage. C'est pourquoi il a été introduit dans cet ouvrage un court exposé des propriétés des métaux.

Dans les combinaisons chimiques, c'est un fait bien connu que les éléments se combinent toujours entre eux en proportions définies produisant des composés de propriétés fixes et déterminées, de sorte que les mêmes composés peuvent toujours être considérés comme contenant les mêmes éléments mis dans les mêmes proportions. Cette loi s'applique à l'union de deux métaux, si ces métaux sont chimiquement combinés, et le même alliage aura toujours identiquement les mêmes propriétés. Pour obtenir des alliages doués de propriétés caractéristiques déterminées, quelques expérimentateurs ont étudié les combinaisons d'après les poids atomiques des constituants ; mais jusqu'à présent, le nombre de semblables combinaisons d'un intérêt pratique est très limité. Ces chimistes ne répondaient donc point aux besoins de l'industrie. De plus, une des préoccupations du manufacturier est le prix de revient, et le chimiste l'oublie quelquefois ; c'est ainsi qu'un alliage fait exactement d'après les proportions atomiques et ayant les qualités requises ne pourrait pas être utilisé dans beaucoup de cas, à moins que le prix ne soit d'accord avec sa valeur marchande. La question d'argent doit donc entrer en ligne de compte, et les proportions doivent être d'accord si possible avec les nécessités commerciales. Ainsi pour les alliages de cuivre, tels que les bronzes, les combinaisons qui possèdent le mieux les caractères de composés chimiques

sont dures et aigres ; comme ces alliages sont beaucoup plus employés qu'aucun autre, il n'y a pas motif à encourager les métallurgistes à allier le cuivre et le zinc, ou le cuivre et l'étain, suivant les proportions atomiques, la malléabilité et la ténacité étant les propriétés les plus demandées pour ces alliages. De même, dans beaucoup d'alliages, la couleur est le principal desideratum, et elle ne peut pas être obtenue par un mélange en proportions atomiques ; spécialement, dans certains cas, une petite quantité d'un des constituants suffira pour altérer l'aspect et produire l'effet cherché.

Si l'on doit ajouter un métalloïde à un métal ou à un alliage, on y apportera beaucoup de soin ; on sait que les métalloïdes se combinent plus facilement avec les métaux que les métaux entre eux, et qu'une petite quantité d'un métalloïde suffit pour altérer les propriétés du métal ou de l'alliage. Notons cependant que, dans certains cas, une simple trace d'un élément altérera les propriétés d'un métal. Par exemple 1/2000 de carbone additionné au fer le convertit en acier doux ; 1/1000 de phosphore rend le cuivre cassant ; 1/2000 de tellure dans le bismuth le rend cristallin ; 1/1000 d'antimoine dans le cuivre le rend de très mauvaise qualité pour certains usages.

Lothar Meyer a montré qu'une relation remarquable existe entre les *volumes atomiques des éléments.* Les volumes atomiques relatifs des éléments s'obtiennent en divisant leurs poids atomiques par leurs poids spécifiques. Le poids atomique du plomb est 207, son poids spécifique 11,45 ; $\frac{207}{11,45} = 18$ est le volume atomique du plomb. Il semblerait que la faculté pour un élément de rendre un métal plus faible, s'il est ajouté en petite quantité, dépend du volume atomique de l'impu-

reté (1). Roberts-Austen essaya l'effet de différents éléments sur l'or pur, et trouva que si l'élément ajouté a un volume atomique égal ou inférieur à celui de l'or, la résistance était peu changée ; elle était augmentée avec le cuivre. Mais si l'élément ajouté a un volume atomique beaucoup plus grand que celui de l'or, la résistance, sauf deux exceptions, est très diminuée. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

	Résistance de tension kg. par mm²	Allongement pour 100 sur 3 pouces 76 mm.	Impuretés pour 100	Volume atomique de l'impureté
K.	plus petit que 0,8	imperceptible	plus petit que 0,2	45,1
Bi	0,8	id.	0.21	20,9
Te	6,1	id.	0,86	25,5
Pb	6,6	4,9	0,240	18
Thallium .	9,8	8,6	0,193	17,2
Sn	9,8	12,3	0,196	16,2
Sb	9,5	?	0,203	17,9
Cd	10,8	44,0	0,202	12,9
Ag	11,2	33,3	0,2	10,1
Pa	11,2	32,6	0,205	9,4
Zn	11,9	28,4	0.205	9,1
Rh	12,2	25,0	0,21	8,4
Mn	12,6	29,7	0,207	6,8
In	12,6	26,5	0,29	15,3
Cu	13,0	43,5	0,193	7,0
Li	14,0	21.0	0,201	11,8
Al	14,0	25,5	0,186	10,6

Les alliages ont généralement des propriétés différentes de celles de leurs constituants ; quelquefois, ces différences sont très marquées. Ainsi une petite quantité d'arsenic ajoutée à l'étain donne un alliage dont la structure cristalline ressemblera beaucoup à celle du zinc. Les métaux se combinent, soit avec dégagement, soit avec absorption de chaleur. D'après Roberts-Austen, les métaux suivants s'unissent avec

(1) *Journal of Soc. of Arts*, 19 octobre 1898.

dégagement de chaleur : aluminium-cuivre, platine-étain, arsenic-antimoine, bismuth-plomb, or-étain. D'autre part, le plomb et l'étain s'unissent avec absorption de chaleur.

Quand le plomb, l'étain et le bismuth, en proportions équivalentes, sont mélangés à l'état très divisé avec 8 équivalents de mercure, à la température ordinaire, la température tombe de 17°C. à — 10°C. Si le vase contenant le mélange est sur une planche mouillée, l'eau sera congelée. Cette combinaison formera donc un mélange réfrigérant.

La méthode de production des alliages par une forte compression des poudres métalliques constituantes a été donnée par le professeur Spring de Liège en 1878, qui a continué cette étude (1). Ses expériences étaient faites à l'aide d'une presse. La poudre métallique est placée sous un court cylindre d'acier, dans la cavité d'un bloc d'acier vertical ; le tout est maintenu par un collier et placé dans une chambre de bronze, dans laquelle on peut faire le vide. La pression est exercée à l'aide d'une tige cylindrique passant à travers une boîte à étoupes. Sous une pression de 2000 atm., ou 20,6 kg. par mm.^{2}, le plomb, sous la forme de limaille, se transforme en une masse solide, et sous la pression de 5000 atm., le métal coule à travers les fissures de l'appareil comme un liquide. Spring a obtenu des résultats importants avec des métaux cristallins comme le bismuth et l'antimoine. Sous une pression de 6000 atm., du bismuth finement pulvérisé se réunit en une masse solide ayant une cassure cristalline. L'étain, dans les mêmes conditións, coule à travers un trou, sous la forme d'un fil. Le tableau suivant donne les pressions devant être exercées pour unir les poudres de différents métaux :

(1) *Bull. Acad. de Belgique*, (2) 1878, n° 6 ; (2) 1880, n° 5.

Le plomb	s'unit à	20,5	kg. par mm^2.
L'étain	»	30,0	»
Le zinc	»	60,0	»
L'antimoine	»	60,0	»
L'aluminium	»	60,0	»
Le bismuth	»	60,0	»
Le cuivre	»	52,0	»
Le plomb	coule à	52,0	»
L'étain	»	74,0	»

Le professeur Spring pensa que les particules des différents métaux pouvaient aussi bien s'unir par pression pour former des alliages, et il considéra que la formation de tels alliages par compression apporterait une preuve concluante au fait suivant : à froid, il y aurait union entre les particules des métaux, si elles sont amenées en contact intime. Il comprima un mélange de 15 parties de bismuth, 8 de plomb, 4 d'étain et 3 de cadmium, et obtint un alliage fondant à 100° C. Il est nécessaire de broyer le produit de la première compression et de soumettre la poudre à une nouvelle pression pour obtenir un alliage parfait. On a fait l'objection que le mélange avait pu être fondu grâce à la chaleur de compression. Le professeur Spring a prouvé expérimentalement que ce n'était pas le cas. La compression fut effectuée avec une extrême lenteur, et Spring calcula que si tout le travail dû à la compression des poudres était transformé en chaleur, on pourrait seulement chauffer un cylindre de fer de 8 millimètres de diamètre et 10 millimètres de hauteur de 40° à 64° C. Il prit alors de la *phorone* qui fond à 28° C. et la comprima de la même manière que les poudres métalliques ; il en résulta une union imparfaite des particules et la température de 28° C., nécessaire pour fondre la phorone, ne fut pas atteinte (1).

(1) *Bull. Soc. chim.*, Paris, 1884, p. 488.

CHAPITRE II

ALLIAGES DE CUIVRE.

§ **21**. — Le cuivre forme avec les autres métaux une série d'alliages beaucoup plus nombreux et importants que ceux d'aucun autre métal ; ils peuvent être reconnus à leur couleur rouge, leur grande malléabilité, leur ductilité, leur dureté, leur douceur et leur ténacité ; le cuivre communique ses propriétés à beaucoup de ses alliages, même s'il est uni à des métaux très opposés, comme le zinc. Après le fer, il peut être considéré comme le plus utile de tous les métaux à cause de ses propriétés commerciales quand il est employé seul, et de sa valeur intrinsèque comme constituant des alliages. Les qualités qui rendent le cuivre si utile sont quelquefois un désavantage ; par exemple, la dureté et la finesse du grain le rendent plus difficile à tourner que le bronze, et sa douceur le rend impropre à être employé seul pour les objets soumis à de grandes détériorations. Dans la grande majorité des cas où le cuivre est employé, il est fondu et coulé dans des moules de formes diverses, afin de le préparer à un traitement ultérieur, et les difficultés d'obtenir une coulée saine sont si grandes qu'il ne peut que passer successivement dans les mains d'un ouvrier adroit et expérimenté ; même alors une pratique commune consiste à ajouter quelque autre substance, de telle sorte qu'on peut dire que le cuivre pur n'a jamais été coulé en quantité considérable, et qu'il est très difficile de produire une bonne pièce moulée exempte de

soufflures. Dans ces dernières années, on a porté beaucoup d'attention à cette question à cause de la fabrication des tubes, cylindres, et différents corps ont été ajoutés au cuivre en fusion dans le but de corriger les défauts inhérents.

Le cuivre pur n'est donc pas commercial, et quoique le cuivre soit maintenant produit sur une grande échelle, plus pur qu'auparavant, le métal retient des matières qui modifient les propriétés que le cuivre possède à l'état chimiquement pur. Les impuretés communes sont le fer, l'arsenic, l'antimoine, quelquefois le soufre. Ces éléments, même en petite quantité, affectent sérieusement le cuivre, mais ils peuvent être en partie éliminés en les unissant à l'oxygène. Quand un tel métal est fondu au contact de l'air, une certaine quantité de cuivre est oxydée en donnant l'oxyde cuivreux Cu^2O qui rend la masse cassante et impossible à travailler ; de l'air ou de l'oxyde de carbone sont aussi retenus à l'état gazeux, et le métal se solidifiant d'abord à la surface, un peu de gaz sera occlus dans l'intérieur de la masse, produisant une structure poreuse. Pour prévenir l'accès de l'air, les métaux peuvent être couverts par du charbon de bois ; cette précaution, employée judicieusement, peut avoir un effet utile, mais la grande difficulté est de savoir si le carbone a agi comme on le désirait. Le carbone au contact de l'air produit de l'oxyde de carbone, et ce gaz pénètre probablement à l'intérieur du cuivre et s'unit à l'oxygène ; mais s'il y a excès d'oxyde de carbone, il peut réduire les oxydes présents comme impuretés, aussi bien l'oxyde de cuivre que les autres, et les éléments libres s'allieront au cuivre, le rendant sec et analogue en propriétés à ce qui est techniquement connu sous le nom de cuivre *surraffiné*. Étant donné que le cuivre commercial est impur, mais que les impuretés peuvent être neutralisées en grande partie par l'oxygène, le problème consiste à trou-

ver le point où cet effet est atteint sans introduire un excès d'oxygène. D'autre part, il peut être aussi efficace et beaucoup plus facile d'admettre un excès d'oxygène, et de le chasser ensuite par addition de quelque corps ayant plus d'affinité que le cuivre pour lui. C'est ainsi que M. Walton, des usines de cuivre Ansonia des États-Unis d'Amérique, a breveté un procédé de préparation de cuivre pour coulées ; en voici les propres termes : « Ma présente invention est pour traiter le cuivre en creusets de façon à exclure l'action de l'atmosphère, soumettre le cuivre à l'action du carbone en quantité suffisante pour chasser l'oxygène, rendre un tel métal solide à l'état coulé, augmenter sa malléabilité et sa ductilité. Je prends huit livres de zinc. à l'état d'oxyde ou de carbonate, et les mélange avec un boisseau de charbon pilé ; je mouille et en fais une pâte dure que je fractionne en 34 parts ; je les arrondis en forme de balles et les sèche à une chaleur modérée. Le cuivre est placé dans un creuset et chauffé dans un fourneau, et quand on est au point de fusion, on laisse tomber une des balles qui graduellement recouvre le cuivre fondu à la partie inférieure ; de cette façon, la surface du cuivre a été complètement à l'abri de l'atmosphère ; en même temps le zinc se répand dans la masse et s'empare de l'oxygène qui peut être retenu dans le creuset. On pourrait supposer que l'oxyde de zinc imprègnera le cuivre ; mais tel n'est pas le cas : le charbon venant au contact du cuivre, et l'oxyde de zinc étant volatil sous l'action de la chaleur (1), aucune combinaison avec le cuivre n'a lieu ; le zinc est volatilisé et s'échappe par la cheminée, pendant que le charbon reste à la surface du cuivre, se combine avec quelque excès d'oxygène et brûle. Le cuivre ainsi traité devient parfaitement malléa-

(1) L'oxyde de zinc est pratiquement infusible. Voir *Métallurgie* de Percy, p. 532.

ble, et est entièrement affiné ; en fait, ce traitement le rend meilleur. Mon perfectionnement est spécialement avantageux si le cuivre est fondu dans un creuset, mais il peut être employé si le métal est fondu sur une sole ou autrement. Les impuretés du cuivre commun se réunissent à la surface en un laitier ; le cuivre ainsi fait se travaillera mieux à froid ou à chaud, sera plus résistant et plus ductile.

« La méthode ci-dessus peut être appliquée au cuivre qui est employé dans l'industrie. Le cuivre ainsi traité restera à l'état liquide beaucoup plus longtemps que le cuivre traité de la manière ordinaire ; il peut de plus être porté à une température plus élevée sans perdre son affinage. Si l'on coule des objets comme les tubes, ou de petites pièces, on pourra ajouter au moment de la coulée un peu de phosphore qui permet au cuivre de rester liquide, et empêche aussi l'absorption de l'oxygène de l'air pendant le refroidissement dans les moules. »

§ **22**. — Après tout ce qui a été dit concernant les impuretés du cuivre, le sommaire suivant des effets des différents éléments ne sera pas sans utilité pour tous ceux qui s'intéressent aux alliages.

Phosphore. — Une petite quantité n'altère pas sensiblement la couleur du cuivre, mais une grande quantité le rend gris. Un pour cent le rend très cassant à chaud ; il est seulement laminable à froid sans rupture. Un peu de phosphore ajouté au cuivre fondu dans un creuset donne de la solidité dans une coulée subséquente. Le phosphore augmente la fusibilité et la dureté du cuivre ; en quantité, il le rend sec à la température ordinaire. Le cuivre contenant 11 p. 100 de phosphore est extrêmement dur, d'une couleur gris d'acier, susceptible de prendre un beau poli se ternissant rapidement. En faisant du cuivre phosphoré par addition directe de phosphore, le

métal ne doit pas être agité avec une tige de fer ; il se formerait du fer phosphoré qui s'allierait au cuivre.

Silicium. — Fortement chauffé avec du sable et du charbon, le cuivre se trouve contaminé par le silicium. Le cuivre contenant 2 p. 100 de silicium ressemble au bronze quant à la couleur ; il est tenace, plus dur que le cuivre, cassant à chaud, mais laminable à froid. M. Anderson de Woolwich trouve le cuivre contenant 1,82 p. 100 de silicium plus tenace que le bronze. Si la température employée pour chauffer le cuivre est trop basse, ou pas suffisamment prolongée, un peu de silicium seulement sera réduit, et le métal ressemblera beaucoup à du cuivre non affiné.

Arsenic. — Le cuivre et l'arsenic se combinent facilement quand l'arsenic métallique est jeté dans le cuivre fondu. Si on en ajoute ainsi une petite quantité, le métal peut être fondu en un lingot, sain, se contractant par le refroidissement comme le cuivre phosphoré, pouvant être laminé à froid et étiré en fils fins. Une grande quantité d'arsenic rend le métal dur et sec. L'arsenic se combine aussi facilement au cuivre si l'un de ses composés est chauffé avec du charbon au contact du cuivre.

Fer. — La malléabilité du cuivre est sérieusement modifiée par la présence du fer, qui rend le cuivre plus dur, plus pâle en couleur, moins fusible et sec. Le fer peut cependant être éliminé par l'usage d'un flux oxydant.

Plomb. — Un pour cent de plomb dans le cuivre le rend à la fois cassant à chaud et à froid ; on ne peut l'en débarrasser qu'à la condition de perdre un peu de cuivre qui passe dans le laitier. En quantité moindre, le plomb est quelquefois ajouté au cuivre intentionnellement pour l'opération du laminage.

Antimoine. — Le cuivre est rendu dur, sec ; il présente à

la surface de rupture une couleur terne, gris-jaunâtre ; ce corps est plus nuisible que l'arsenic.

Bismuth. — Ce métal est reconnu exercer une influence tout à fait nuisible sur le cuivre ; une très petite quantité le rend cassant à chaud, et 1/200 suffit à le faire cassant à froid.

Zinc. — En très petite quantité, il n'altère pas beaucoup le caractère du cuivre ; il tend à lui donner une couleur jaune et une cassure fibreuse. 6/1000 de zinc rendent le cuivre cassant à chaud, mais non à froid.

Nickel et cobalt. — Ils se trouvent occasionnellement dans les minerais de cuivre, et sont réduits en même temps que le cuivre. Ces métaux rendent le cuivre moins malléable, principalement en présence d'un peu d'antimoine. Le métal est alors plus dur et plus pâle en couleur.

Etain. — En très petite quantité, il ne semble pas affecter les propriétés nouvelles du cuivre, si ce n'est de le rendre un peu plus dur.

Les remarques précédentes concernant l'effet de petites quantités de métaux étrangers sur les propriétés du cuivre ne s'appliquent pas au même degré, quand les métaux sont ajoutés en grande quantité pour former ce qui est généralement connu sous le nom d'*alliages*. Par exemple, un pour cent de zinc rend le cuivre dur et cassant à chaud, mais 20 pour 100 de zinc alliés à 80 pour 100 de cuivre produiront un alliage excessivement malléable. Les alliages de cuivre seront ceux dans lesquels le cuivre est le principal constituant et non ceux dans lesquels le cuivre joue un rôle secondaire. Ainsi les monnaies d'or et d'argent contiennent du cuivre ; ce ne sont pas des alliages de cuivre, mais respectivement des alliages d'or et d'argent. Les principaux alliages de cuivre sont le laiton, le bronze et le maillechort ; ce sont ceux qui ont le plus d'applications dans des industries variées.

Laitons.

§ **23**. — Dans cet ouvrage, le terme *laiton* désignera tous les alliages dans lesquels le cuivre et le zinc sont les principaux constituants ; mais dans l'industrie, il est généralement réservé pour les alliages qui sont nettement jaunes ou qui ont la teinte jaune caractéristique du laiton commun. Les alliages de zinc et de cuivre sont connus dans le commerce sous une variété de noms, et en vérité une grande confusion résulte de la multiplication de noms empiriques pour désigner une même substance. Cela tient sans doute à ce que tout d'abord chaque mélange fut jalousement gardé comme un grand secret, et à ce que des noms fantaisistes furent donnés pour cacher la composition réelle. Bien plus, quelques alliages qui nous sont connus depuis longtemps ont des appellations différentes suivant les localités. Le Dr Percy mentionne « que les termes *tombac*, *métal du Prince*, *similor*, *or de Mannheim* sont employés par quelques auteurs pour désigner des alliages contenant 85 0/0 de cuivre et 15 0/0 de zinc ; pour d'autres, au contraire, *métal du Prince* et *or de Mannheim* sont synonymes ; ce sont des alliages de 75 0/0 de cuivre et 15 0/0 de zinc ; d'après un autre auteur, le *similor* contient 71,5 0/0 de cuivre et 28,5 de zinc et l'*or de Mannheim*, 80 0/0 de cuivre et 20 de zinc ; enfin, suivant un dernier auteur, *similor* et *or de Mannheim* sont synonymes et désignent des alliages contenant de 10 à 12 0/0 de zinc et de 6 à 8 0/0 d'étain » (1).

Le laiton était certainement connu des Anciens, mais sa préparation par le cuivre et le zinc est une invention des temps les plus modernes. Les mines contenant les minerais d'où ce

(1) Percy, *Métallurgie*, p. 606.

métal jaune était extrait étaient très estimées, et il est regrettable qu'on n'ait plus ces minerais. Il fut observé qu'un certain minerai (probablement la calamine CO^3Zn), fondu au contact du cuivre, produisait un métal jaune ; ce procédé fut longuement employé pour faire le laiton, mais on ne savait pas quel métal contenait le minerai et quel changement de propriétés il apportait au cuivre. La préparation du laiton par mélange direct des deux métaux cuivre et zinc fut probablement pratiquée dès que le zinc fut isolé. En 1743, il est établi que des usines de zinc furent installées à Bristol, et en 1758, un brevet fut pris par M. Champion de Bristol pour faire le zinc et le laiton, mais le laiton fut toujours préparé par le procédé indirect de la calamine CO^3Zn ou de l'oxyde de zinc ZnO. Hutton dit que l'industrie du laiton fut introduite à Birmingham vers 1740 par la famille de Turner, et que le principal approvisionnement de ce métal était fourni par les compagnies Macclesfield, Cheadle et Bristol.

Le laiton commercial ne consiste jamais entièrement en cuivre et zinc ; les impuretés existant dans les métaux séparés se trouvent aussi dans l'alliage : les plus communes sont le plomb, l'étain, le fer et l'arsenic. Il arrive souvent que quelques-unes de ces matières sont introduites avec intention dans l'alliage pour produire un effet déterminé. La couleur du laiton présente de grandes variations, selon les proportions de constituants, allant de la couleur rouge du cuivre à la couleur blanc-bleuâtre du zinc. Mais le changement du rouge au blanc n'est pas aussi uniforme qu'un observateur accidentel pourrait le supposer. Ainsi les alliages contenant 94 à 99 0/0 de cuivre sont rouges, avec une faible teinte jaune ; de 83 à 87 0/0 de cuivre, la couleur est jaune-rougeâtre ; de 79 à 86 0/0, une teinte rouge-jaunâtre prédomine ; jusqu'à 74 0/0 de cuivre, les alliages sont jaunes ; avec 67,5 0/0, on

obtient une couleur jaune-rougeâtre ; de 60 à 66 0/0, la couleur est tout à fait jaune ; avec 59 0/0, on obtient une couleur rougeâtre ; avec 52 0/0, la couleur est presque jaune d'or ; avec une moindre quantité de cuivre que ci-dessus, la couleur de zinc commence à dominer la couleur rouge du cuivre, les alliages prenant de plus en plus l'apparence du plomb à mesure que la proportion du zinc augmente.

Le cuivre et le zinc peuvent être unis en toutes proportions, donnant des alliages homogènes ; et la combinaison a ordinairement lieu avec dégagement de chaleur. Certaines variétés de laiton sont excessivement malléables et ductiles, et ces propriétés, combinées avec la variété des couleurs obtenues par des mélanges convenables et le prix modique, rendent les alliages cuivre-zinc très utiles pour l'ornementation. Le laiton possède tous les avantages nécessaires aux matériaux de construction pour les travaux d'art, et avec l'aide des vernis transparents, appelés laques, qui sont très perfectionnés, il résiste remarquablement bien à l'action de l'atmosphère. La malléabilité du laiton varie avec la composition, avec la température et avec la présence de métaux étrangers, qui existent quelquefois en minimes quantités. Quelques variétés ne sont malléables que si elles sont laminées à chaud, d'autres peuvent au contraire être laminées à n'importe quelle température. Les alliages contenant jusqu'à 35 0/0 de zinc peuvent être étirés en fils, mais les plus ductiles sont ceux qui en renferment 15 à 20 0/0. L'alliage connu sous le nom de clinquant, qui est un alliage de cuivre et de zinc contenant plus de cuivre que le laiton ordinaire, est un exemple de la grande malléabilité de certaines espèces de laiton. L'épaisseur des feuilles de clinquant est dite ne pas dépasser 1/2000 de millimètre.

Le laiton est plus dur que le cuivre, par conséquent plus

apte à résister aux détériorations. Il se comporte bien sous l'influence d'une force de percussion, comme dans le procédé de poinçonnage, s'il a été préalablement et convenablement recuit, afin de contrarier les effets de trempe locale due à la compression des particules qui peuvent prendre des positions non naturelles. Pendant l'opération du recuit, le métal se recouvre d'une couche d'oxyde par union du métal avec l'oxygène de l'air ; cet oxyde doit être éliminé à chaque opération. On obtient ce résultat en plongeant le métal dans l'eau forte, ou l'acide sulfurique dilué, le frottant avec du sable si c'est nécessaire et rinçant bien à l'eau.

Le point de fusion du laiton est moindre que la moyenne des points de fusion des constituants, et ce point de fusion modéré est de la plus haute importance dans le cas d'une refonte pour les coulées ou d'autres usages.

Le point de fusion du zinc est beaucoup plus bas que celui du cuivre, et si un alliage de ces métaux est fortement chauffé, le zinc se volatilise, pendant que le cuivre reste, de sorte que la perte de zinc sera considérable si la température est portée trop haut et si la fusion est trop prolongée ; bien plus, l'affinité du zinc pour l'oxygène est beaucoup plus grande que celle du cuivre, et si l'air est librement admis, une quantité considérable de zinc sera oxydée ; on devra donc préserver autant que possible le métal de l'air, en le couvrant de charbon de bois ou de toute autre substance qui n'ait aucune action sur le métal. La fusibilité facile du laiton et sa fluidité à l'état fondu le rendent très propre aux coulées et susceptible de donner des moulages très fins. Le laiton coulé est généralement plus ou moins cristallin, surtout dans les variétés aigres.

La formation des alliages cuivre-zinc est généralement accompagnée d'une contraction qui atteint son maximum dans

les alliages Cu^2Zn^3 et $CuZn^2$ contenant respectivement 39,2 et 32,6 0/0 de cuivre. Ces alliages sont secs et ne présentent aucune des propriétés caractéristiques des constituants.

La densité du laiton est augmentée par un traitement mécanique, mais cet effet est partiellement annulé par un refroidissement rapide et encore plus par un refroidissement lent (1).

Dans les coulées de laiton, on emploie souvent du vieux cuivre provenant d'objets hors de service, du laiton en morceaux, etc. ; et comme ces matières contiennent souvent des corps étrangers qui modifient les propriétés de l'alliage, il faudra apporter beaucoup de soin dans leur choix. Pour certains travaux, ce n'est pas important ; mais si le métal doit être laminé en feuilles, étiré en fils ou s'il est destiné à faire les meilleures variétés de tubes en laiton, l'emploi d'un métal impur est souvent fatal, donnant beaucoup d'ennuis et une augmentation considérable de dépense à cause du déchet. Les impuretés les plus communes, comme il a déjà été dit, sont le plomb, l'étain, le fer et l'arsenic, qui durcissent le métal et tendent à le rendre sec. Pour les laitons destinés à être transformés en fils ou à être travaillés au tour, on ajoute 1 à 2 0/0 de plomb afin de prévenir l'encrassement des outils pendant le travail. Le laiton contenant du plomb doit être très parfaitement mélangé avant d'être coulé, et le métal doit ensuite être refroidi aussi vite que possible ; autrement, le plomb se sépare dans la partie inférieure du produit en donnant des pailles invisibles. Un peu d'étain est souvent avantageux dans le laiton ; il rend le métal plus facilement fusible, moins sec, un peu plus solide et susceptible de prendre un beau poli. Un peu de fer augmente considérablement la

(1) Riche, *Ann. Ch. Phys.*, (4) XXX.

dureté du laiton et en éclaircit la couleur ; un tel métal se ternit beaucoup plus facilement à l'air que le laiton exempt de fer.

Si un lingot de laiton ordinaire est brisé à chaud, la cassure est grossièrement fibreuse ; si on opère à froid, elle est finement granulée. Si la cassure d'un lingot coulé de certains métaux est fibreuse, les directions des fibres seront perpendiculaires à la surface de refroidissement. Dans le cas d'une sphère, les fibres auront la direction des rayons ; dans le cas d'un carré, deux diagonales seront très visibles sur la surface de rupture, formées par les points de jonction des extrémités internes des fibres (1). M. F. H. Storer (2) dit « que la tendance à former des fibres appartient aux alliages contenant de 57-58 0/0 de cuivre à 43-44 0/0, où elle disparaît graduellement. Cette tendance est plus grande dans ces alliages qui contiennent presque des proportions atomiques égales de cuivre et de zinc, étant moins clairement marquée si l'on s'éloigne de ces proportions dans un sens ou dans l'autre ; on arrive à une texture fibreuse analogue à celle du cuivre d'une part, et à l'aspect particulier du zinc d'autre part. Dans la préparation des cristaux, cet aspect se manifeste parfaitement dans les alliages immédiatement au-dessous de ceux qui sont fibreux, et devient de plus en plus visible au fur et à mesure que les alliages sont plus riches en zinc. La cassure de ces alliages blancs est en grande partie vitreuse. »

Le laiton est quelquefois obtenu en cristaux. Storer prépare les individus cristallins les plus parfaits avec une soudure contenant parties égales en poids de cuivre et de zinc ; il obtient une poudre grossière en chauffant suffisamment l'alliage et le pulvérisant dans un mortier lorsqu'il est encore

(1) Percy, *Métallurgie*, p. 608.
(2) *Mem. of. Amer. Acad.*, 1860 (8), p. 35.

chaud. L'alliage contenant 5 à 6 0/0 de zinc cristallise remarquablement bien. Il ressort des remarques précédentes que l'état cristallin des alliages cuivre-zinc ne dépend pas d'un excès de zinc, comme pourrait le faire supposer le caractère très cristallin du zinc. Il a été dit plus haut que le zinc devenait malléable quand il était travaillé à la température de 100-150° C., mais qu'il était cassant aux plus hautes températures. Il est reconnu que l'aigreur est intimement liée à l'état cristallin. Kalischer a examiné différentes variétés de laitons ayant les compositions suivantes :

	I	II	III	IV
Cuivre	66	62,5	60	56,8
Zinc	34	37,5	40	43,2
	100	100,0	100	100,0

Les numéros I et II étaient cristallins ; le numéro III montrait des traces de cristallisation, et le numéro IV ne devenait pas cristallin, même par la chaleur.

	I	II	III
Cuivre.	73,74	80,38	90,09
Zinc.	25,96	19,29	9,91
Etain	0,30	0,33	»
	100,00	100,00	100,00

Ces trois échantillons étaient cristallins.

	I	II
Cuivre	90	88,23
Zinc	5	8,82
Etain	5	2,95
	100	100,00

Aucune cristallisation dans ces spécimens.

La résistance à la tension des alliages cuivre-zinc est très variable ; la plus grande, d'après Mallet, est celle de l'alliage contenant 32,85 0/0 de cuivre ; mais c'est probablement une

erreur, et la plus grande ténacité appartient aux alliages contenant plus de 50 0/0 de cuivre.

§ **24**. — Le tableau suivant qui donne la composition et les propriétés des alliages cuivre-zinc est extrait du tableau de M. Mallet et des observations de Karsten (1) :

N°.	Constitution atomique.	Composition pour cent.	Poids spécifique.	Couleur.	Ordre d'intensité.	Cassure.	Résistance de tension en kg. par mm²
1	Cu	100	8,667	»	»	»	38,8
2	10 Cu + Zn	90,7 + 9,3	8,605	Jaune rougeâtre.	1	G.C.	19,1
3	9 Cu + Zn	89,8 + 10,2	8,607	id.	2	F.C.	18,1
4	8 Cu + Zn	88.6 + 11,4	8,633	id.	3	F.C.	20,2
5	7 Cu + Zn	87,3 + 12,7	8,587	id.	4	F.C.	20,8
6	»	86,3 + 13,7	8,705	»	»	»	»
7	6 Cu + Zn	85,4 + 14,6	8,591	Rouge jaunâtre.	3	F.F.	22,2
8	»	84,0 + 16,0	8,639	»	»	»	»
9	5 Cu + Zn	83,02 + 16,98	8,415	Rouge jaunâtre.	2	F.C.	21,6
10	»	80,6 + 19,4	8,679	id.	»	»	»
11	4 Cu + Zn	79,65 + 20,35	8,448	id.	1	F.C.	23,2
12	»	75.9 + 24,1	8,609	Jaune laiton.	»	»	»
13	3 Cu + Zn	74,58 + 25,42	8,397	— pâle.	»	F.C.	20,6
14	»	73,8 + 26,2	8,582	— laiton.	»	»	»
15	»	67,5 + 32,3	8,499	Jaune laiton rougeâtre.	»	»	»
16	2 Cu + Zn	66,18 + 33,82	8,299	Très jaune.	1	F.C.	19,7
17	»	60,0 + 40,0	»	Jaune.	»	»	»
18	»	59,0 + 41,0	8,375	Jaune rougeâtre.	»	»	»
19	»	52,0 + 48,0	8,229	Presque jaune d'or.	»	»	»
20	Cu + Zn	49,47 + 50,53	8,230	Très jaune.	2	G.C.	14,5
21	»	46,5 + 53,5	»	Blanc rougeâtre.	»	»	»
22	»	44,0 + 56,0	»	Blanc ; vu obliquement, jaune foncé.	»	»	»
23	»	35,5 + 64,5	»	Blanc bleuâtre.	»	»	»
24	Cu + 2 Zn	32,85 + 67,15	8,283	Jaune foncé ?	»	G.C.	30,4 ?
25	8 Cu + 17 Zn	31.52 + 68,48	7,721	Blanc d'argent ?	1	C.	3,3
26	8 Cu + 18 Zn	30,30 + 69,7	7,836	id.	1	V.C.	3,5
27	8 Cu + 19 Zn	29,17 + 70,83	8,019	Gris d'argent.	3	C.	1,1
28	8 Cu + 20 Zn	28,12 + 71,88	7.603	Gris cendré.	3	V.	5,0
29	8 Cu + 21 Zn	27,10 + 72,90	8,058	Gris d'argent.	2	C.	1,4
30	8 Cu + 22 Zn	26,24 + 73,76	7,882	id.	1	C.	1,3
31	8 Cu + 23 Zn	25,39 + 74,61	7,443	Gris cendré.	4	F.C.	9,3
32	»	24,8 + 75,2	»	Gris plomb clair.	»	»	»
33	Cu + 3 Zn	24,50 + 75,50	7,449	Gris cendré.	1	F.C.	4,9
34	»	21,0 + 79,0	»	Gris plomb clair.	»	»	»
35	Cu + 4 Zn	19,65 + 80,35	7,371	Gris cendré.	2	F.C.	3,0
36	Cu + 5 Zn	16,35 + 83,64	6,605	Gris très brillant.	»	F.C.	2,8
37	»	14,7 + 85,3	»	Gris plomb clair.	»	»	»
38	»	11,25 + 88,75	»	»	»	»	»
39	»	9,5 + 90,5	»	Gris plomb brillant.	»	»	»
40	Zn	100	6,895	»	»	»	24,0

(1) Percy, *Métallurgie*, p. 611.

§ 26. — Table d'alliages divers cuivre-zinc.

Nos	Noms	Auteurs	Cuivre	Zinc	Etain	Plomb	Fer
1	Laiton anglais . . .	Lavater	70,29	29,26	0,17	0,28	»
2	— Heegermahl .	Id.	70,16	27,45	0,79	0,2	»
3	— d'Augshourg.	Id.	70,89	27,63	0,85	»	»
4	— de Neustadt .	Kadernatsch.	71,36	28,15	»	»	»
5	— de Romilly .	Chandet.	70,1	29,9	»	»	»
6	— inconnu . . .	Karsten.	71,5	28,5	»	»	»
7	— —	Regnault.	71,0	27,6	trace	1,3	»
8	— —	Chaudet.	61,59	35,33	0,25	2,86	»
9	— Stolherg. . .	Id.	65,8	31,8	0,25	2,15	»
10	Roues de montre . .	Faisst.	60,66	36,88	1,35	»	0,74
11	Id.	Id.	66,06	31,46	1,43	»	0,88
12	Clous de navire, mauvais.	Percy.	52,73	41,18	»	4,72	»
13	Clous de navire, bons	Id.	62,62	24,64	2,69	8,69	»
14	Tomhac anglais. . .	Faisst.	86,38	13,61	»	»	trace
15	— allemand. .	Karsten.	84,0	15,5	»	»	»
16	Monnaie de Titus Claudius.	Giraldin.	81,4	18,6	»	»	»
17	Monnaie de Titus (79 A.D.).	Phillips.	83,04	15,84	»	»	0,5
18	Monnaie de Adrien (120A.D.)	Id.	85,67	10,83	1,14	1,73	0,74
19	Monnaie de Faustina jun. (165 A.D.). . .	Id.	79,15	6,67	4,97	9,18	0,23
20	Bracelet antique (Naumberg)	Gœhel.	83,08	15,38	1,54	»	»
21	Statue de Louis XIV.	Darcet.	91,40	5,53	1,7	1,37	»
22	— Napoléon.	Id.	95	20	3	2	»
23	Laiton pour dorure .	Id.	82	15,5	2,5	»	»
24	Id.	Id.	64,5	32,5	2,5	»	»
25	Id.	Id.	82	15	3	»	»
26	Id.	Id.	78	20	2	»	»
27	Laiton jaune pâle. .	Kœnig.	82,33	16,69	»	»	»
28	— foncé .	Id.	84,5	15,3	»	»	»
29	— rouge .	Id.	90	9,6	»	»	»
30	Laiton orange	Id.	98,93	0,73	»	»	»
31	— rouge de cuivre	Id.	99,9	»	»	»	0,8
32	— violet	Id.	98,25	0,5	trace	»	trace
33	— vert.	Id.	84,32	15,02	»	»	0,3

métal jaune. Leur composition varie de 56 à 63 0/0 de cuivre et de 42 à 37 0/0 de zinc (1).

M. George-Frédéric Muntz, de Birmingham, a pris en 1832 son premier brevet relatif au métal jaune pour doublage de la carène des navires. Les proportions spécialement recommandées sont 60 0/0 de cuivre et 40 0/0 de zinc ; mais ces nombres peuvent varier de 56 à 63 0/0 de cuivre. On doit employer du cuivre *best selected* et du zinc étranger. Le métal est fondu en lingots et laminé en feuilles lorsqu'il est encore chaud ; ces feuilles sont attaquées par l'acide sulfurique dilué pour enlever la couche d'oxyde, puis lavées à l'eau. La même année, M. Muntz prit un second brevet pour la fabrication perfectionnée des chevilles et autres pièces de liaison des navires : les mêmes proportions de cuivre et de zinc que précédemment sont indiquées. En 1846, il fut donné à M. Muntz un troisième brevet pour l'emploi d'un alliage contenant 56 0/0 de cuivre, 40,25 de zinc et 3 ,75 de plomb. Il est spécifié qu'on ne doit employer que les métaux purs, que l'alliage est coulé en lingots qui sont laminés au rouge ; la suite du traitement est la même que dans le premier brevet. Le Dr Percy indique qu'il a réussi à bien laminer des laitons qui ne contenaient pas moins de 8 0/0 de plomb.

M. Muntz donne la théorie suivante ralativement à l'emploi de son alliage : sous l'influence de l'eau de mer, le zinc est lentement et uniformément attaqué sur toute la surface, ce qui empêche la fixation des coquillages. Le métal jaune a complètement remplacé le cuivre dans le doublage des vaisseaux marchands. Les avantages spéciaux sont qu'il conserve la carène des navires plus propre, et qu'il coûte moins cher que le cuivre. Il a été établi par des expériences que la pro-

(1) Percy, *Métallurgie*, p. 619.

portion de zinc dans l'alliage ne doit pas excéder 38 0/0 ; au-dessus de cette quantité, le doublage devient friable ; s'il y a sensiblement moins de 38 0/0, il s'use trop rapidement. En 1874, un alliage composé de 62 parties de cuivre, 37 de zinc et 1 d'étain fut proposé par M. Farquharson pour le laiton de marine. Pour avoir les meilleurs résultats, il recommande le cuivre d'Australie ou d'Angleterre. Non recuit, en baguettes ou en feuilles d'épaisseur moyenne, le métal a une résistance à la tension de 47 à 51 kilog. par mm², suivant le degré de laminage.

La composition du laiton pour fils ordinaires varie de 67 à 72 0/0 de cuivre et de 33 à 28 0/0 de zinc. Il a été dit qu'on ajoutait quelquefois du plomb au laiton destiné au laminage ; mais on ne doit pas en mettre dans celui qui est étiré en fils, le plomb diminuant la ténacité de l'alliage, et la ductilité d'un métal dépendant beaucoup de sa résistance à la traction. D'après les tréfileurs, si le fil de laiton est recuit aussitôt après être retiré du tambour sur lequel il a été enroulé pendant l'étirage, il se gerce. Pour obvier à cet inconvénient, après avoir retiré la bobine de fil du tambour, on la soumet à une forte concussion ; on en saisit une extrémité avec les mains, on l'élève et on frappe fortement sur un banc l'autre bout ; on répète cette opération plusieurs fois.

Quelques espèces de fils subissent un changement moléculaire avec le temps, surtout s'ils sont soumis aux vibrations ; ils deviennent extrêmement cassants. On sait que les chaînes de laiton, employées pour supporter les objets, tels que les chandeliers, etc., perdent leur ténacité : elles deviennent aigres et se rompent sans cause apparente. Les chevilles de navires faites en métal de Muntz sont quelquefois trouvées ayant subi une espèce particulière d'exfoliation : à l'extérieur, le métal se sépare plus ou moins complètement, et à

l'intérieur il se forme des couches concentriques autour d'un solide noyau cylindrique.

Laiton fondu.

§ **29.** — La composition du laiton employé pour les pièces coulées varie considérablement ; elle dépend beaucoup des usages auxquels sont destinés les objets fabriqués, et aussi de la couleur particulière que l'on désire obtenir. Ainsi les alliages de joaillerie, ayant une couleur jaune-rougeâtre, contiennent de 82 à 90 0/0 de cuivre, pendant que ceux tenant de 60 à 70 0/0 de cuivre sont d'une couleur jaune. La composition la plus généralement employée est celle-ci : 66,6 0/0 de cuivre et 33,4 de zinc ; c'est le laiton type anglais. Il se comporte très bien sous le laminoir et le marteau, et peut être employé pour l'étirage en fils. Le laiton fondu contient généralement plus de zinc que celui qui est fait pour la fabrication des feuilles, des fils et des tubes ; c'est pourquoi il est plus fusible. Les matières premières ne sont pas choisies avec autant de soin, de sorte que le laiton fondu est souvent plus impur que le laiton laminé, beaucoup de débris étant mélangés au métal neuf. Les impuretés les plus communes sont le plomb, l'étain et le fer. Ces métaux ne sont pas toujours désavantageux ; le plomb est généralement ajouté dans la proportion de 1 à 2 0/0 dans le laiton employé pour le travail au tour et à la lime ; il donne de la finesse au métal et préserve les outils de l'encrassement. La présence d'un peu d'étain est avantageuse si l'on désire de la dureté, comme dans le cas des coussinets. Un peu de fer durcit le laiton et augmente sa ténacité et son élasticité. Mais il n'est pas convenable d'introduire des métaux autres que le cuivre et le zinc, à moins que ce ne soit pour des usages spé-

ciaux. Si l'addition du plomb, de l'étain ou du fer donne de bons résultats dans des cas spéciaux, la présence simultanée de deux ou de tous ces métaux est généralement nuisible, quelle que soit l'action de l'un quelconque s'il est seul. En fait, il peut être donné comme règle générale, non pas sans exceptions, qu'un alliage de deux métaux est plus stable qu'un alliage de trois ou plus ; plus grand est le nombre des métaux alliés ensemble, plus grande est la difficulté pour obtenir des pièces coulées uniformes et saines. Le plomb spécialement a une tendance à se séparer du mélange par refroidissement, produisant des taches noires invisibles, surtout s'il y en a 2 0/0 et plus.

Si le métal est coulé en grande quantité, ou si les pièces sont de grandes dimensions, il est établi que, pendant la solidification, une plus grande proportion de cuivre se réunit dans la partie inférieure de la coulée, et l'alliage est ainsi sujet à avoir une couleur plus intense dans cette même région que dans la partie supérieure. Les constituants d'un alliage de deux ou plusieurs métaux tendent à se séparer d'après leurs densités respectives ; cette tendance est d'autant plus marquée que les constituants sont plus nombreux et leurs densités plus différentes. Mais si les métaux forment une combinaison chimique, cette séparation n'aura plus lieu.

Pour montrer la différence de composition entre les parties supérieures et inférieures du laiton fondu, l'auteur a fait les déterminations suivantes. Différentes variétés de laiton ont été fondues ensemble, de façon à donner différentes qualités, et coulées dans des moules découronnés en fer de 100 mm. de haut et environ 20 mm. en carré.

l'intérieur il se forme des couches concentriques autour d'un solide noyau cylindrique.

Laiton fondu.

§ 29. — La composition du laiton employé pour les pièces coulées varie considérablement ; elle dépend beaucoup des usages auxquels sont destinés les objets fabriqués, et aussi de la couleur particulière que l'on désire obtenir. Ainsi les alliages de joaillerie, ayant une couleur jaune-rougeâtre, contiennent de 82 à 90 0/0 de cuivre, pendant que ceux tenant de 60 à 70 0/0 de cuivre sont d'une couleur jaune. La composition la plus généralement employée est celle-ci : 66,6 0/0 de cuivre et 33,4 de zinc ; c'est le laiton type anglais. Il se comporte très bien sous le laminoir et le marteau, et peut être employé pour l'étirage en fils. Le laiton fondu contient généralement plus de zinc que celui qui est fait pour la fabrication des feuilles, des fils et des tubes ; c'est pourquoi il est plus fusible. Les matières premières ne sont pas choisies avec autant de soin, de sorte que le laiton fondu est souvent plus impur que le laiton laminé, beaucoup de débris étant mélangés au métal neuf. Les impuretés les plus communes sont le plomb, l'étain et le fer. Ces métaux ne sont pas toujours désavantageux ; le plomb est généralement ajouté dans la proportion de 1 à 2 0/0 dans le laiton employé pour le travail au tour et à la lime ; il donne de la finesse au métal et préserve les outils de l'encrassement. La présence d'un peu d'étain est avantageuse si l'on désire de la dureté, comme dans le cas des coussinets. Un peu de fer durcit le laiton et augmente sa ténacité et son élasticité. Mais il n'est pas convenable d'introduire des métaux autres que le cuivre et le zinc, à moins que ce ne soit pour des usages spé-

ciaux. Si l'addition du plomb, de l'étain ou du fer donne de bons résultats dans des cas spéciaux, la présence simultanée de deux ou de tous ces métaux est généralement nuisible, quelle que soit l'action de l'un quelconque s'il est seul. En fait, il peut être donné comme règle générale, non pas sans exceptions, qu'un alliage de deux métaux est plus stable qu'un alliage de trois ou plus ; plus grand est le nombre des métaux alliés ensemble, plus grande est la difficulté pour obtenir des pièces coulées uniformes et saines. Le plomb spécialement a une tendance à se séparer du mélange par refroidissement, produisant des taches noires invisibles, surtout s'il y en a 2 0/0 et plus.

Si le métal est coulé en grande quantité, ou si les pièces sont de grandes dimensions, il est établi que, pendant la solidification, une plus grande proportion de cuivre se réunit dans la partie inférieure de la coulée, et l'alliage est ainsi sujet à avoir une couleur plus intense dans cette même région que dans la partie supérieure. Les constituants d'un alliage de deux ou plusieurs métaux tendent à se séparer d'après leurs densités respectives ; cette tendance est d'autant plus marquée que les constituants sont plus nombreux et leurs densités plus différentes. Mais si les métaux forment une combinaison chimique, cette séparation n'aura plus lieu.

Pour montrer la différence de composition entre les parties supérieures et inférieures du laiton fondu, l'auteur a fait les déterminations suivantes. Différentes variétés de laiton ont été fondues ensemble, de façon à donner différentes qualités, et coulées dans des moules découronnés en fer de 100 mm. de haut et environ 20 mm. en carré.

	A		B	
	HAUT	BAS	HAUT	BAS
Cuivre.	77,52	78,82	55,32	57,84
Zinc, par différence. .	22,15	20,74	44,26	41,58
Plomb.	0,12	0,22	0,22	0,27
Fer	0,21	0,22	0,20	0,31

Tableau des différentes qualités de laiton fondu ordinaire déterminées par l'analyse d'échantillons commerciaux.

	CUIVRE	ZINC	ÉTAIN	FER	PLOMB
Laiton français	71,9	25,1	1,0	»	2,0
id.	66,3	33,2	»	»	0,5
Marine française	65,8	31,15	0,25	»	2,8
Métal anglais pour cloches	67,0	27,27	1,0	0,04	4,69
Laiton anglais	67,0	32,0	»	»	1,0
id.	64,6	33,7	0,2	»	1,5
id.	64,5	32,5	0,3	0,5	2,2
id. très commun	61,6	34,8	0,5	0,6	2,5
id. id. . .	60,2	38,04	0,47	0,61	1,68

Le laiton employé pour la fabrication des belles pièces fondues doit posséder d'autres propriétés que celui devant être travaillé à la lime ou au tour. Lorsqu'il est fondu, il doit être tout à fait liquide, pâteux en aucun point, de façon à pouvoir prendre exactement la forme du moule ; la texture doit avoir un grain fin et être uniforme dans toutes les parties. Bien plus, comme de telles pièces doivent être saines et exemptes de soufflures, il faut pouvoir maintenir l'état liquide jusqu'au point de solidification, de façon à ce que le métal puisse être travaillé à la plus basse température possible ; l'air et les autres gaz absorbés durant la fusion pourront ainsi, aussi bien que possible, s'échapper avant la coulée. Si les

pièces doivent être dorées, on a reconnu que si le métal est similaire à l'or quant à la couleur, il faut moins d'or pour obtenir l'effet cherché que si le laiton est jaune-pâle. Par cette raison, le laiton jaune-rougeâtre est préféré. Les Français ont porté cette industrie à un haut degré de perfection ; les pendules, les statuettes et d'autres articles ornementaux sont fabriqués sur une grande échelle. Les alliages employés à cet usage sont souvent appelés bronzes, mais ce sont généralement des laitons auxquels on a ajouté un peu de plomb et d'étain qui donnent au métal une couleur analogue à celle du bronze. Les proportions suivantes sont souvent utilisées :

	I	II	III	IV
Cuivre	63,7	64,45	70,90	72,43
Zinc	33,55	32,44	24,05	25,75
Plomb	2,5	0,25	2,00	1,87
Étain	0,25	2,86	3,05	2,95

Ces alliages peuvent être facilement fondus, travaillés à la lime et au tour, et facilement dorés.

Différentes espèces de laitons.

§ 30. — *Oréide français.*

Cuivre	90	85,5	82,75
Zinc	10	14,5	16,40
Étain	»	»	0,55
Fer	»	»	0,30

Ces alliages se distinguent par une belle couleur d'or ressemblant beaucoup à celle des alliages d'or. Ils sont très ductiles et tenaces, peuvent être facilement estampés et laminés ; ils sont susceptibles d'un beau poli. D'après une vieille

recette, l'oréide est préparé de la manière suivante : « Fondre 100 parties de cuivre, ajouter en remuant constamment 6 parties de magnésie, 3,6 parties de sel ammoniac, 1,8 partie de chaux et 9 parties de tartre brut. Agiter encore complètement et ajouter alors 17 parties de zinc en grenaille ; après l'avoir mélangé vigoureusement au cuivre, maintenir l'alliage liquide pendant une heure. Enlever la scorie et couler l'alliage. »

§ **31.** — *Talmi* ou *or Talmi* ou *or d'Abyssinie.*

Cuivre.	93,5	90	88,0	87	85	86,4
Zinc.	6,5	9	11,5	13	15	12,2
Or	»	1	0,5	»	»	»
Étain	»	»	»	»	»	1,4

L'or Talmi, ainsi appelé par les Français qui l'emploient pour la joaillerie bon marché, se distingue par son travail facile et une belle couleur d'or ; il se conserve très bien. La couleur reste intacte pendant très longtemps, si l'alliage est recouvert d'une mince couche d'or, unie à l'alliage par le laminage ; si l'épaisseur de cette couche est suffisante, l'apparence caractéristique du métal peut être conservée pendant des années sans altération. Mais on fait beaucoup d'imitations bon marché, qui sont vendues sous ce nom ; elles consistent en laiton commun doré avec une faible couche d'or.

§ **32.** — *Alliage de Tournay.* — Employé aussi dans la joaillerie bon marché, aussi bien que pour la fabrication des boutons et des ornements dits en bronze ; il est composé de 82,5 parties de cuivre et 17,5 de zinc.

§ **33.** — *Or de Mannheim, similor, métal du Prince.* — La composition de cet alliage varie considérablement :

Cuivre	83,1	88,9	75
Zinc	10,0	10,3	25
Étain	6,9	0,8	»

Le premier de ces alliages a une teinte rouge-jaunâtre, et le second une teinte rouge foncé. Le similor a été beaucoup employé pour les boutons, et d'autres objets estampés exigeant une apparence de couleur rouge.

§ **34**. — *Tombac*. — Comme il a déjà été dit, *tombac* est un nom qui s'applique à des alliages que quelques fabricants appellent métal du Prince, similor et or de Mannheim. Ce nom est employé pour des alliages si différents en composition et en propriétés qu'il perd toute signification, ce qui vient à l'appui de la proposition du Dr Percy de désigner les alliages de cuivre et de zinc par leur composition centésimale. Le tableau ci-dessous montrera les compositions de différents alliages :

	CUIVRE	ZINC	PLOMB
Tombac pour boutons	99,15	0,85	»
id. rouge de Vienne	97,8	2,2	»
id. id. de Paris	92,0	8,0	»
Tombac (Bolley)	91,0	9,0	»
Tombac d'Oker	84,6	15,4	»
id. pour boutons	82,3	17,7	»
Tombac (Bolley)	70,1	29,9	»
id. français	80,0	17,0	3,0
id. id.	82,0	17,5	0,5

§ **35**. — *Métal pour dorure*. — Les alliages de cuivre et de zinc contenant plus de 80 0/0 de cuivre ont une couleur jaune-rougeâtre ou une teinte rouge, et sont employés pour la dorure. Celui dont la couleur s'approche le plus de celle de la monnaie d'or est le plus apprécié pour les articles devant être

dorés. Si un tel métal doit être laminé en feuilles il suffit de se reporter au tableau dressé par la Commission des États-Unis pour voir que le plus malléable contient 83 de cuivre et 17 de zinc. Ces alliages sont aussi connus sous le nom de laiton rouge, et comme cette couleur rouge est plus agréable à l'œil que le jaune, ils sont fréquemment employés pour les alliages auxquels on ne demande pas spécialement de la dureté et de la résistance. Le métal pour dorure a cependant la réputation de ternir plus vite que le laiton ordinaire. Les propriétés du laiton rouge peuvent être modifiées dans certains cas par l'addition d'étain, de plomb et de fer ; l'action de ces métaux a déjà été exposée.

Les variétés suivantes de laiton se distinguent des précédentes par une couleur jaune caractéristique.

§ 36. — Métal d'Hamilton, chrysorine, or mosaïque.

Cuivre	72	66,6	65,3	50
Zinc	28	33,4	34,7	50

Hamilton et Parker en 1826 prétendaient que l'alliage à 50 0/0, après coulage dans le moule et refroidissement, avait une couleur d'or, et ne ternissait pas à l'air, même dans le voisinage de la mer. Ils le préparèrent en fondant ensemble parties égales de cuivre et de zinc dans un creuset à la plus basse température possible, remuant constamment et ajoutant alors du zinc en petites quantités de façon à obtenir la couleur désirée. Cet alliage est très flexible s'il est fortement chauffé, mais il ne convient pas pour le laminage ou l'étirage à froid. Il fond à une température relativement basse, et est employé comme soudure dure. Les alliages donnés sous les noms ci-dessus sont malléables et ductiles, et, comme il a déjà été mentionné, conviennent pour les objets coulés. La

méthode de préparation décrite par Hamilton et Parker ne peut pas être adoptée, car indépendamment de la grande quantité de zinc employé, la composition de l'alliage serait trop incertaine. Le procédé usuel est de fondre d'abord le cuivre, et d'ajouter ensuite le zinc. On a proposé la méthode suivante, mais elle prête aux mêmes objections que celle donnée par Hamilton et Parker. Mettre dans le creuset la moitié du zinc devant être employé, placer le cuivre par dessus, fondre sous une couche de borax à une température aussi basse que possible. Quand la masse est liquide, chauffer la deuxième moitié du zinc coupé en petits morceaux jusqu'à fusion et l'ajouter petit à petit dans le creuset ; agiter constamment pour avoir un mélange aussi intime que possible.

§ **37**. — *Métal du Prince*. — Nom donné à différents alliages de couleur jaune, dont la composition varie de 60 à 75 0/0 de cuivre et 25 à 40 de zinc.

§ **38**. — *Métal de Bobierre*. — C'est le laiton ordinaire contenant 66 parties de cuivre et 34 de zinc. Bobierre recommandait cet alliage comme convenant spécialement pour le doublage des navires.

§ **39**. — *Métal jaune de Macht*. — Composé de 57 parties de cuivre et 43 de zinc, il a une couleur jaune-rougeâtre ; malléable quand il est laminé à chaud, il ne l'est pas à froid. Il est dit très propre aux belles pièces coulées, à cause de sa grande résistance.

Laitons contenant du fer.

§ **40**. — Beaucoup de laitons et de bronzes faits par les Anciens contiennent du fer ; probablement savaient-ils que l'addition de fer à ces alliages augmentait leur dureté et leur résistance, et l'y introduisaient-ils avec intention.

Dans les temps plus modernes, l'addition du fer aux laitons a attiré l'attention des métallurgistes, et quelques alliages, contenant du fer comme principal constituant, ont été signalés de temps en temps. En 1779, James Heir proposa un alliage de 10 parties de fer avec 100 de cuivre et 75 de zinc. Des alliages similaires, mais contenant moins de fer et des proportions différentes de cuivre et de zinc, ont été introduits sous les noms de *sterro-métal*, d'*alliage de Gedge*, de *métal d'Aich*. Sir John Anderson, le dernier inspecteur des poudrières royales, a fait une série d'expériences avec des laitons contenant du fer, et a obtenu quelques bons résultats. L'augmentation de la dureté et de la résistance était acquise aux dépens de la ductilité et de la douceur. La grande difficulté rencontrée par l'expérimentateur était l'incertitude dans les propriétés des alliages contenant du fer.

§ **41.** — *Sterro-métal.* — Il est composé de 60 parties de cuivre, 38 à 38,5 de zinc et 2 à 1,5 de fer. Il est recommandé pour le doublage des navires et autres objets sujets à l'action continuelle de l'eau de mer. La présence de fer dans cet alliage lui communique une résistance égale à celle de l'acier doux, et supérieure à celle du fer forgé. Brannt mentionne un cas dans lequel un tube en fer forgé se brisa sous une pression de 267 atmosphères, tandis qu'un tube en sterro-métal supporta une pression de 763 atmosphères sans se rompre. Cet alliage possède aussi une grande élasticité, et est spécialement employé pour les cylindres hydrauliques. De tels cylindres, soumis à de très hautes pressions, commencent à ressuer, l'eau de l'intérieur traversant les pores du métal. Avec le sterro-métal, la pression peut être élevée beaucoup plus qu'avec le fer ou l'acier, sans qu'il apparaisse aucune trace d'humidité à l'extérieur du cylindre.

Le sterro-métal peut être rendu très dur et très dense par

un traitement mécanique convenable qui, en modifiant les propriétés, a une influence aussi grande que la composition chimique. En laminant ou martelant cet alliage à chaud, si on apporte beaucoup de soin à régler la température à laquelle il est porté, il devient sec et se brise sous le marteau ou entre les rouleaux. Le Baron Rosthorn a essayé un sterro-métal contenant 55,04 de cuivre, 42,36 de zinc, 0,83 d'étain et 1,77 de fer ; il a obtenu les résultats suivants :

ÉTAT	TÉNACITÉ EN KG. PAR MM
Coulé	42,5
Forgé	53,5
Étiré à froid	59,9
Bronze coulé	28,4

La ténacité du bronze ordinaire est donnée par comparaison. Le poids spécifique de l'alliage était de 8,37 à 8,40 selon qu'il était forgé ou étiré en fils. Un autre alliage de même source contenait 55 de cuivre, 41,34 de zinc et 3,66 de fer.

§ **42**. — *Métal d'Aich*. — Analogue au sterro-métal, il montre des variations similaires dans sa composition. Ses propriétés principales sont la dureté et la ténacité, les mêmes remarques qu'au sterro-métal s'appliquant à cet alliage ; pratiquement, les deux sont identiques. Les alliages désignés sous ce nom contiennent de 0,4 à 3,0 0/0 de fer. Ils ont une couleur jaune d'or, et sont recommandés pour les objets exposés à l'eau de mer. Les analyses suivantes donnent une idée de la composition :

Cuivre	60,66	60,0	60,2	58,26
Zinc	36,58	38,2	38,2	41,00
Étain.	1,02	»	»	»
Fer.	1,74	1,8	1,6	0,74

§ **43**. — *Métal Delta.* — Proposé par M. Alexandre Dick en 1883, il a pris une place importante parmi les laitons modernes. Le nom *delta* lui a été donné par l'auteur ; c'est ainsi que la lettre D, initiale de son nom, est désignée en grec.

On a dit plus haut que les premiers expérimentateurs avaient eu une grande difficulté à déterminer les propriétés des alliages contenant du fer ; M. Dick s'est proposé d'en donner l'explication. Il préparait des quantités variables de l'alliage, de la même manière, en dissolvant du fer forgé dans du cuivre fondu. Les résultats obtenus montrent beaucoup de différences, parce que la quantité de fer dissous dans chaque essai n'est pas uniforme. Il essaya alors de trouver une méthode qui lui permît d'introduire une quantité connue et définie de fer, et réussit en dissolvant du fer dans du zinc à saturation et ajoutant ce mélange avec ou sans zinc pur à du cuivre fondu. Mais si les métaux étaient refondus, il y avait oxydation, et les pièces coulées variaient encore en caractère, les oxydes ainsi formés se dissolvant dans l'alliage et diminuant sa résistance et sa douceur. Cette deuxième difficulté était surmontée par l'addition de petites quantités de phosphore. Dans quelques cas, M. Dick introduit aussi de l'étain, du manganèse ou du plomb de manière à donner à l'alliage des propriétés spéciales. Tous les alliages ainsi obtenus sont maintenant fabriqués et vendus sous le nom de *métal Delta.* L'inventeur estime que, par son procédé, le fer est chimiquement combiné dans le laiton et le bronze, ces alliages ne s'oxydant pas à l'air humide et étant sans influence sur l'aiguille aimantée.

Dans un mémoire lu devant « the Balloon Society » le 15 novembre 1889, M. Macyntire dit « que les propriétés du métal Delta, — grande résistance et grande douceur, longue durée, résistance à la corrosion, prix relativement bas, — lui don-

nent une très grande valeur pour les constructions en général, et plus spécialement pour les constructions maritimes, l'art naval et les constructions sanitaires. Cet alliage peut être également fondu, forgé, estampé et laminé à chaud, étiré à froid. »

Le pouvoir qu'a le métal Delta de résister à la corrosion sous l'influence des liqueurs acides des mines a été prouvé par « the Bonifacius Coal Mining Company of Westphalie ». La Compagnie a fait une série d'expériences sur la corrosion relative de métaux de résistance convenable. Le laiton et le bronze n'étaient pas résistants, et les essais ont été faits avec l'acier, le fer et le métal Delta. Des barres laminées de chacun de ces métaux ont été immergées pendant six mois et demi dans l'eau venant des fosses de Kray, et alors pesées de nouveau et photographiées. Les barres avaient 190 mm. de long sur 16 mm. en carré. Ce tableau suivant donne les poids de ces métaux avant et après l'immersion :

	FER FORGÉ Kg.	ACIER Kg.	MÉTAL DELTA Kg.
Avant	0,5354	0,5500	0.5800
Après	0,7436	0,7536	0,5730

Du *Schweizerischcs Gewerbeblatt* du 8 juin 1889, on extrait ce qui suit : « Dans les premières locomotives du chemin de fer du mont Pilate, on demandait une matière pouvant être coulée et ayant une grande résistance à la tension et une grande élasticité. Le métal Delta répondait à ces exigences : les roues du système de freins à engrenage étaient faites avec ce métal, et elles furent d'un très bon usage. Les essais furent faits par le professeur Tetmayer de Zurich ; on trouva une résistance à la tension de 35 à 37 kilog. par mm² avec un allongement de 30 à 40 0/0 sur une longueur de

200 mm. » Le capitaine Locher a aussi fait des essais. Un des pignons en métal Delta ayant été en service pendant longtemps, les dents étaient usées de 0,8 mm. environ ; leur épaisseur à la base était de 16 mm. et à la tête de 11 mm. ; la largeur était de 125 mm. On essaya quelle devait être la puissance nécessaire à la rupture d'une telle dent. L'essai fait par M. le professeur Tetmayer a donné les résultats suivants :

P.	5	9	10	12	14	15	
ΔL	0	0,1	0,5	1,5	2.5	3,4	
P.	16	17	18	19	20	21	21,5
ΔL	4,3	5,3	6,2	7,5	9,0	12.0	rupture.

P indique la force en tonnes, et ΔL le raccourcissement en millimètres de la longueur L, primitivement égale à 70 mm. Les résultats sont tout à fait favorables.

Résultats donnés par des échantillons de métal Delta essayés au Lloyd :

Marques.	Description.	Dimension et état de l'échantillon. mm.	Section primitive mm².	Section de la cassure mm².	Effort permanent en kg. par mm².	Effort maximum en kg. par mm².	Allongement p. 100 sur 203 mm.	Apparence de la cassure.	Remarques.
N° 1	Barre carrée (recuite). .	12,7 diam. — tourné.	126.63	81,80	»	43,8	39	Soyeuse et légèr. laminée.	»
N° 2	Barre plate (recuite). .	36,6 × 3,25	118,89	71.09	19,0	47,2	36	Granulée et soyeuse.	»
N° 3	Barre ronde	12,6 diam. — tourné.	124,12	87,22	36,8	50,5	23	id.	»
N° 4	Barre hexagonale. . . .	12,4 diam. — tourné.	121,60	81,03	39,4	49,3	11	id.	Rompue pendant l'extension.
N° 5	Barre plate. .	36,6 × 3,25	118,89	104,51	21,6	55,7	14	Soyeuse.	»

L'essai suivant de métal Delta forgé a été fait à Cardiff, au Bureau d'essais du Lloyd.

La tige d'une soupape à guide, ayant 14 mm. de diamètre à sa petite extrémité, et provenant d'un lingot de métal

Delta de 51 mm. coulé en coquille, fut soumise aux essais mentionnés ci-dessous :

(L'échantillon fut réduit au centre pour l'essai.)

N° de l'échantillon	Dimension.		Aire.			Allongement sur 76 mm.		Effort maximum.		Remarques.
	Avant l'essai.	Après l'essai.	Avant l'essai	Après l'essai.	Contraction p.100	absolue	p. 100.			
	mm	mm	mm²	mm²		mm		kg	kg par mm²	
1	12,9	10,5	129,67	85,80	34,32	22,9	30,0	71,63	55,3	Brisé dans la partie réduite ; bonnes cassures.

Laiton blanc.

§ **44**. — Les alliages de cuivre et de zinc contenant moins de 45 0/0 de cuivre cessent d'avoir une couleur jaune. Ceux contenant de 40 à 30 0/0 de cuivre sont blanc d'argent, et au-dessous de 30 0/0, la couleur passe du gris au gris-bleuâtre, la ressemblance avec le zinc métallique étant d'autant plus grande que la proportion de ce métal est elle-même plus grande. Les alliages blanc d'argent ont une cassure conchoïdale, et les alliages les plus zincifères ont une cassure plus ou moins cristalline. A cause de leur aigreur, ils ne peuvent être employés pour le laminage et le tréfilage ; mais quelques-uns sont utilisés pour les travaux à la presse, si on ne se sert pas de pressions trop fortes. Certains de ces alliages sont connus sous des noms spéciaux.

§ **45**. — *Platine Birmingham et Plomb-platine*. — Ils sont employés pour certains travaux ; leur composition varie suivant les fabricants :

Cuivre.	46,5	43	20
Zinc.	53,5	57	80

Ces alliages sont utilisés pour les boutons : on les coule dans des moules donnant des arêtes vives, et on régularise par une compression faite avec soin. D'autres alliages pour boutons contiennent :

Cuivre	54	50	60,0	60	54,5
Zinc	43	45	33,5	30	45,5
Étain	3	5	6,5	10	»

§ **46**. — *Alliages de Sorel.* — Ces alliages se distinguent par une grande dureté et une ténacité considérable. Ils se moulent bien et peuvent être facilement détachés du moule. Employés beaucoup pour les statuettes et autres objets artistiques, ils sont vendus sous le nom de bronze fondu après avoir été préalablement bronzés. Les proportions suivantes sont recommandées :

Cuivre	1	10
Zinc	98	80
Fer	1	10

Le fer est employé en tournure et fondu avec le cuivre et le zinc sous une couche de charbon de bois. Mais comme le zinc se volatilise très facilement, il est préférable de l'employer préalablement fondu : on obtient ainsi un alliage plus homogène avec la perte minimum de zinc.

§ **47**.— *Bronzes de Fontainemoreau.*— Ils sont recherchés pour le moulage en coquilles, le métal étant coulé dans des moules en fer. On a ainsi des alliages plus homogènes, le refroidissement rapide empêchant la séparation des constituants selon leurs densités respectives. La nature très cristalline du zinc est changée par l'addition de cuivre, de fer ou de plomb. On emploie les proportions suivantes :

Zinc . . .	90	91	92	92	97,0	97	99	99,5
Cuivre . .	8	8	8	7	2,5	3	1	»
Fonte. . .	1	»	»	1	0,5	»	»	0,5
Plomb . .	1	1	»	»	»	»	»	»

Soudures pour laitons.

§ **48.** — Ce sont des alliages de cuivre et de zinc employés pour joindre les différentes parties d'un objet. Le point de fusion de la soudure doit être inférieur à celui du corps à souder, mais il doit en être aussi voisin que possible, afin d'obtenir un joint plus solide. La soudure pour laiton appartient à la classe connue sous le nom de soudures fortes ou brasures. On peut dire, en règle générale, que le point de fusion des alliages cuivre-zinc est d'autant plus élevé qu'il contient plus de cuivre, et alors, un laiton quelconque pourra être transformé en soudure par addition de zinc ou de cuivre, suivant les cas. L'alliage employé ordinairement pour souder le laiton contient parties égales de cuivre et de zinc. Une soudure facilement fusible s'obtient avec 34 de cuivre et 66 de zinc. Dans ce cas, cependant, le joint serait beaucoup plus faible que si la soudure employée était plus difficilement fusible ; l'excès de zinc devra être évité lorsque ce sera possible. Une autre soudure fusible a la composition suivante : 44 parties de cuivre, 50 de zinc, 4 d'étain et 2 de plomb. Les alliages contenant du plomb ne sont pas recommandables, car ce métal tend à se séparer et à donner des pailles noires invisibles ; la solidité du joint est ainsi diminuée. Une forte soudure pour les alliages plus riches de cuivre et de zinc s'obtient avec 53 parties de cuivre et 47 de zinc. La soudure pour laiton est quelquefois employée pour souder le fer et le cuivre, et comme ces métaux ont un point de fusion plus

élevé que celui du laiton, on peut utiliser une soudure de meilleure qualité ; c'est ce qui arrive souvent. Dans ces cas, l'étain est souvent ajouté comme un des constituants ; on doit éviter son emploi, car il augmente l'aigreur de la soudure et devient ainsi une cause de faiblesse. L'addition d'étain au laiton donne lieu au passage de la couleur jaune à la couleur grise ou blanche, suivant la quantité d'étain employée ; les alliages sont alors obtenus avec une couleur jaune, blanc-jaunâtre et blanc-grisâtre. Le tableau suivant donne les différentes variétés de soudures :

SOUDURE	Cuivre	Zinc	Etain	Plomb	Couleur
Très forte	58	42	»	»	jaune rougeâtre
Forte	53	47	»	»	»
Moyenne	50	50	»	»	»
id.	54,5	43,5	1,5	0,5	»
Facilement fusible .	34	66	»	»	blanc
id.	44	50	4	2	gris
Soudure blanche . .	57	28	15	»	blanc

Dans la fabrication des soudures, il est très important que les métaux constituants soient de très bonne qualité, car les impuretés modifient sérieusement la couleur, la malléabilité et la résistance de la soudure ; on doit également apporter beaucoup de soin dans le mélange des métaux, de façon à obtenir un alliage uniforme. La soudure est souvent faite en fondant le laiton et y ajoutant la quantité calculée de zinc ; on a ainsi un mélange plus parfait et une perte de zinc moindre que dans le cas où l'on met le zinc dans le cuivre fondu. La soudure est ordinairement employée sous forme de grains; on obtient ces grains en coulant l'alliage fondu dans l'eau, ou en le pulvérisant dans un mortier de fer étant encore très chaud.

Le mode le plus convenable pour préparer la soudure pour

laiton est le suivant : fondre rapidement le laiton dans un creuset, le métal étant recouvert d'une couche de poussier de charbon de bois ; lorsqu'il est complètement fondu, ajouter le zinc qui a été préalablement chauffé près de son point de fusion. Agiter vigoureusement pendant quelques minutes pour être certain de l'homogénéité du mélange, enlever la scorie de la surface et couler ensuite, en ayant soin que ni du charbon ni de la scorie ne soient entraînés avec le métal dans le moule, ou dans l'eau conme ce peut être le cas.

Une méthode de granulation consiste à retirer le lingot du moule aussitôt solidifié et à le pulvériser dans un grand mortier de fer ; ou bien à chauffer le lingot de soudure au-dessus d'un feu de charbon de bois et le pulvériser ensuite dans un mortier de fer.

Quelques fabricants mettent le métal fondu dans une cuiller et le versent ensuite dans l'eau froide d'une hauteur considérable ; sur son passage, le métal traverse un balai humide ou un dispositif semblable, de façon à être divisé en fragments. Le métal granulé est ensuite passé dans une série de cribles de différentes grandeurs, de manière à obtenir des grains uniformes.

Un autre procédé est le suivant : couler le métal fondu sur la surface d'une grande boule de fer placée dans une terrine basse contenant de l'eau froide, de sorte que le haut de la boule émerge au-dessus de la surface de l'eau. Le métal est ainsi rompu en petits fragments de grandeur uniforme.

D'après Krupp, on obtient les meilleurs résultats de la manière suivante :

« A quelque distance au-dessus de la surface de l'eau servant à l'opération, on dispose un tube horizontal communiquant ou avec une pompe foulante puissante ou avec un réservoir d'eau. Avant de couler le métal, on ouvre le robinet

du tube de façon à diriger le jet d'eau horizontalement au-dessus du vase contenant l'eau. Le métal fondu est versé sur ce jet d'eau ; et il est d'autant plus divisé que l'eau s'échappe du tube avec une plus grande force. Par ce moyen, il est possible, dans certaines limites, d'obtenir des grains de dimensions déterminées. » Comme le montre cette description, la pulvérisation du courant de métal fondu est basée sur le même principe que celui employé pour la diffusion des liquides odorants dans l'air.

Si la soudure est granulée au moyen de l'eau, il est nécessaire de retirer les grains de l'eau aussitôt que l'opération est terminée et de les sécher vivement, afin d'éviter une oxydation superficielle.

Fabrication des laitons.

§ **49.** — Il a été fait allusion précédemment à deux modes distincts de fabrication des laitons, connus respectivement sous les noms de *méthode à la calamine* et de *méthode directe* ; la première était presque exclusivement employée il y a cinquante ou soixante ans, mais elle est maintenant pratiquement abandonnée. Dans la méthode ancienne ou méthode à la calamine, le cuivre métallique est mélangé avec de l'oxyde de zinc et du charbon de bois et ce mélange est fortement chauffé pendant douze heures et plus ; le zinc, réduit par le carbone et l'oxyde de carbone, s'allie avec le cuivre pour donner le laiton. Le métal ainsi préparé a été réputé de qualité supérieure à celui fait par la méthode directe ; mais par suite de la grande amélioration dans la qualité des laitons de ces dernières années, il est très douteux, si l'ancien procédé était repris, que la valeur du métal pour beaucoup d'emplois fût supérieure à celle du laiton étant actuel-

lement sur le marché. La réputation qu'avait le laiton à la calamine ne pourrait être maintenue qu'en apportant un grand soin dans le choix du minerai et du cuivre employés et qu'en prenant des minerais de composition uniforme de façon à n'avoir qu'un produit de propriétés uniformes et déterminées. Le prix de revient du laiton à la calamine est moins élevé que celui du laiton fait par le procédé direct ; mais le premier procédé est beaucoup plus incommode et demande beaucoup plus de temps que le second ; pour les petits fondeurs, il est tout à fait inapplicable.

Laiton à la calamine.

§ **50.** — Les minerais étaient d'abord soumis à un traitement préliminaire afin d'éliminer autant que possible les autres composés, tels que le plomb, l'antimoine et l'arsenic, qui diminuent la qualité du laiton. La calamine naturelle était calcinée pour chasser l'acide carbonique, le soufre et les autres matières volatiles, et former l'oxyde de zinc. Le minerai calciné était alors moulu dans un moulin ; le peu de galène était enlevé par lavage, et l'oxyde sec mélangé avec un tiers de son poids de charbon de terre ou de charbon de bois ; le tout était introduit dans des creusets en faisant alternativement des couches de ce mélange et de cuivre granulé.

Les creusets employés étaient en argile réfractaire (0 m. 32 de profondeur, 0 m. 22 de large en haut, 0 m. 17 au milieu — mesures intérieures).

Le king-pot (c'est ainsi que le creuset du milieu était désigné), avait 0 m. 35 de profondeur et contenait 54 kg. de métal, pendant que chacun des petits ne renfermait que 38 kg. La charge consistait en 45 kg. de minerai calciné, 18 kg. de charbon et 30 kg. de cuivre en grains.

Le four employé se compose d'une chambre circulaire *m* construite en briques réfractaires, fermée au-dessus par un

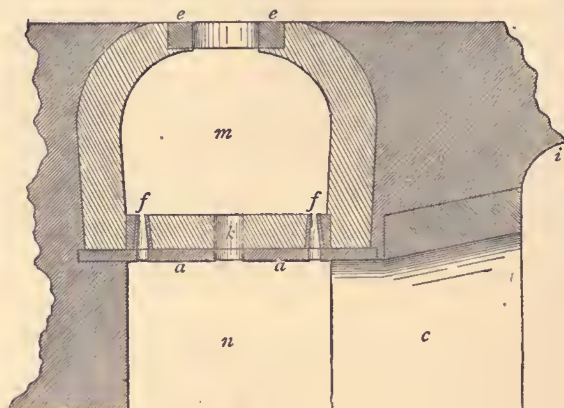


Fig. 4.

couvercle circulaire dans lequel est fixé un collier de fonte *e e* ; à la partie inférieure, se trouve une plaque de fonte *a a* dans

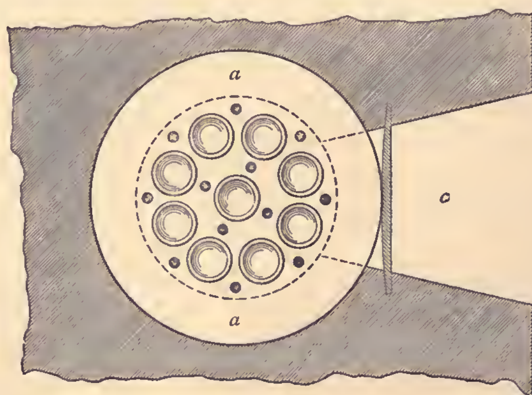


Fig. 5.

laquelle sont percés 12 trous symétriquement disposés autour d'un plus large *k* placé au centre ; ces ouvertures servent à

retirer de temps en temps les cendres et le mâchefer. Au-dessous de cette plaque, est le cendrier *n*, communiquant en avant par un conduit à air *c* avec une voûte *i* ; c'est par là que l'air est admis et que les ouvriers peuvent pénétrer dans le cendrier. Dans les petits trous de la plaque, sont disposées des tuyères *f f*, plus étroites en haut qu'en bas. L'espace entre les tuyères est rempli avec des briques réfractaires pour former un lit solide ; l'air nécessaire à la combustion pénètre à travers ces tuyères. Quelques fours sont construits en file, et le tout couvert avec un grand cône analogue à celui d'une verrerie (1).

Les creusets sont placés dans le four de façon que le king-pot occupe le centre ; chacun des pots est recouvert avec un morceau de charbon, et on garnit l'intervalle entre les pots avec de petits morceaux de combustible. Quand l'opération est terminée, on retire d'abord le king-pot, et le contenu est bien agité avec une baguette de fer. On retire successivement chacun des autres pots, on agite bien, et lorsque le laiton est rassemblé à la partie inférieure, on le verse dans le king-pot. La scorie est alors enlevée de la surface et le métal versé dans des moules convenables.

Dans ce procédé, l'oxyde de zinc est réduit à une température inférieure à celle du point de fusion du cuivre, qui, exposé à l'action de la vapeur de zinc, se combine à ce métal et donne le laiton. Si on élevait trop la température, le cuivre fondrait, se réunirait à la partie inférieure du creuset et beaucoup de zinc se volatiliserait sans s'allier au cuivre.

Si le métal obtenu par le procédé ci-dessus n'était pas de la qualité demandée, il était nécessaire de faire une nouvelle fusion avec de la calamine ou du charbon de bois, ou avec du cuivre, selon que c'était le cuivre ou le zinc qui était en excès.

(1) Percy, *Métallurgie*, p. 613.

Préparation directe du laiton.

§ **51**. — Cette méthode consiste à fondre ensemble le cuivre et le zinc dans les proportions convenables, soit dans un creuset, soit dans un four à réverbère, ce dernier étant surtout employé pour le métal de Müntz ou métal jaune qui doit être en gros lingots. Beaucoup d'essais ont été faits pour abandonner les creusets et y substituer des fours spéciaux du type réverbère ; mais la perte de zinc est si grande et la composition du laiton obtenu si incertaine, que, même pour le métal jaune, beaucoup d'industriels ont quitté le réverbère et sont revenus au vieux procédé des creusets.

Un fourneau à creusets est généralement une chambre rectangulaire de 0 m. 30 à 0 m.40 en carré et 0 m. 90 à 1 m. 20 de profondeur, garnie intérieurement de briques réfractaires, et communiquant vers le haut avec une cheminée au moyen d'un tuyau ; ce tuyau est généralement horizontal dans la partie qui le relie au four, puis incliné au-dessus dans la cheminée. C'est spécialement le cas si plusieurs fourneaux s'ouvrent dans une seule cheminée. La construction du four et la disposition des tuyaux sont de première importance, car une légère différence dans l'arrangement des tuyaux affectera considérablement le tirage et empêchera d'obtenir la haute température nécessaire à la fusion du cuivre, du laiton, du bronze et des métaux similaires. La section du tuyau a une grande influence sur le travail du four, car s'il est trop étroit, il y aura beaucoup de frottement, et le tirage sera trop faible.

Pour avoir un tirage actif et énergique, le tuyau doit être spacieux, et la cheminée large et haute. La section du tuyau doit varier du sixième au quart de celle du foyer. Un tirage défectueux est très souvent dû à la mauvaise construction

des tuyaux ; car si les trous de tirage de plusieurs fours s'ouvrent dans une conduite commune, les courants, se continuant au delà des orifices, se contrarient l'un l'autre.

Les fours chauffés au gaz ont été adoptés dans quelques usines.

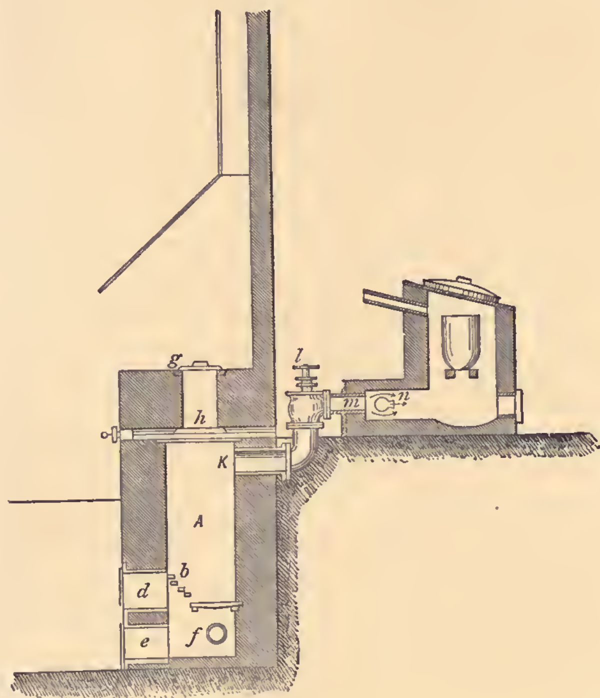


Fig. 6.

La fig. 6 montre un dispositif employé à la manufacture de porcelaine de Berlin et à l'hôtel de la Monnaie. *A* est une chambre de briques réfractaires ayant une grille plate ordinaire composée de barreaux de fer, et une autre grille dans laquelle les barreaux sont placés en échelons *b*. Avec une semblable grille, on peut employer le poussier de charbon qui ne tiendrait pas sur une grille ordinaire. La surface de la grille, par

l'arrangement en échelons, est considérablement augmentée, et offre un grand espace pour l'admission de l'air. Les deux ouvertures *d* et *e* sont fermées par des portes en fer. Un courant d'air est introduit sous les grilles par le tube *f*. Le combustible est chargé par l'ouverture *g* qui est fermée avec un couvercle en fer, et par un registre à glissière *h*. Les gaz, principalement de l'oxyde de carbone, passent à travers le tube *k* pourvu d'une valve régulatrice *l*, et s'échappent en *m*. Immédiatement en avant de l'ouverture *m*, et s'étendant à travers le four, se trouve un tube en fer *n*, par lequel arrive de l'air. L'oxyde de carbone brûle là, et la chaleur est communiquée au four dans lequel est placé le creuset. Afin de représenter dans la même section verticale le gazogène et le four à fusion, il a été nécessaire de déplacer le four à fusion de sa position réelle : il se trouve à côté du gazogène. L'air est insufflé par un petit ventilateur à travers les tubes *f* et *n*, munis de valves régulatrices (1).

De grands perfectionnements dans la construction des fours à fusion chauffés par du combustible gazeux ont été faits durant ces trente dernières années, grâce aux travaux de MM. Siemens. Par l'emploi des gazogènes, du combustible de qualité trop inférieure pour les fourneaux ordinaires a pu être utilisé, et on obtient une température plus élevée par la combustion du gaz formé que par l'emploi direct du combustible. Un gazogène est généralement une chambre rectangulaire dans laquelle on brûle le combustible pour avoir de l'oxyde de carbone, comme il a déjà été expliqué. Un gazogène Siemens (fig. 7 et 8) est construit en briques réfractaires ; le côté A, formé de plaques de fer garnies de briques réfractaires, est muni d'une grille en échelons B formée de barreaux

(1) Percy, *Métallurgie*, p. 201.

de fer forgé C. Le combustible est chargé par la trémie D. Le gaz s'échappe par le tube E, garni de fer, et arrive dans un tube horizontal en fer qui le dirige vers le régénérateur, où il est fortement chauffé avant d'entrer dans le four dans lequel il est brûlé; on produit ainsi une température plus haute.

L'excédent de chaleur du four n'est pas perdu; on s'en sert pour chauffer les régénérateurs. La figure 8 montre la disposition d'un four Siemens à creusets, où les pots sont chauffés par la combustion du gaz chaud et de l'air chaud. Les régénérateurs sont des chambres faites en maçonnerie

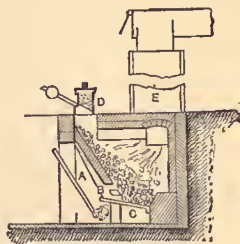


Fig. 7.



Fig. 8.

de briques creuses réfractaires, construites par paires, deux paires étant nécessaires pour chaque four; chaque couple est alternativement employé pour absorber la chaleur des produits gazeux des fours, et pour chauffer le gaz et l'air nécessaires à la combustion.

Au moyen d'une valve, le courant gazeux passe soit dans le système de droite, soit dans celui de gauche. Si les gaz perdus traversent les chambres à récupération de droite, l'air froid et le gaz passent à travers celles de gauche, et la direction des courants gazeux est renversée quand il a été absorbé une quantité suffisante de chaleur. Il est à remarquer que le gaz combustible et l'air rentrent alternativement dans le four à droite et à gauche, suivant que ce sont les chambres de

droite ou de gauche qui ont été utilisées. Pour la fusion des métaux, on peut obtenir une flamme neutre ou non oxydante qui préviendra la perte du métal par oxydation et qui sera très avantageuse si l'on veut conserver constante la composition d'un alliage, comme dans la fabrication des laitons.

Les fours à réverbère ne sont employés que pour la fabrication du laiton en grande quantité, comme dans le cas des lingots de métal jaune utilisé pour le doublage des navires, etc. Un four communément employé est celui qui contient une tonne de métal. Il est de forme rectangulaire, avec une sole plane oblique, s'inclinant du pont vers la porte de travail. La sole est formée de briques réfractaires, placées de champ, très soigneusement ; un fond de sable bien battu est aussi employé.

Le cuivre est d'abord fondu dans une atmosphère de flamme de façon à exclure l'air autant que possible. Puis les résidus et le zinc, préalablement chauffés, sont introduits, et le mélange effectué aussi vivement que possible pour éviter la perte de zinc. Quelques manufacturiers fondent le cuivre dans le four, le coulent dans une grande demoiselle, y ajoutent les résidus et le zinc chauds, de façon à verser le métal immédiatement dans les moules dès que l'agitation nécessaire au mélange des constituants a été effectuée.

Les alliages de cuivre et de zinc sont faciles à faire ; mais si on ajoute le zinc au cuivre dans le four, le registre de la cheminée doit être presque fermé et le feu ne pas être trop vif ; si la température devenait trop haute, beaucoup de zinc serait perdu. Bien plus, lorsque les métaux sont entièrement mélangés, la surface doit être recouverte de charbon de bois ou de sable, surtout s'il est nécessaire d'élever la température avant la coulée. Lorsque le métal est prêt pour la coulée, on ouvre le trou de coulée avec une barre de fer, et le métal est

reçu dans une poche. La surface du métal est recouverte de charbon de bois qui conserve la chaleur et préserve de l'oxydation due à l'air. La température du laiton ou du bronze fondu s'abaisse rapidement; aussi, pour obtenir des pièces saines, faut-il verser de suite le métal dans les moules. On doit garantir des courants d'air, et toutes les ouvertures doivent être fermées durant la coulée.

§ 52. — *Condensation des fumées de zinc.* — Dans la fabrication des laitons, surtout si l'on emploie un four à réverbère, le zinc a tendance à se volatiliser ; à cause des pertes qui en résultent, on a cherché des moyens de récupération. On peut employer le dispositif suivant. Un tube en forme de siphon est placé entre le four et la cheminée, et au fond de l'une des branches, est installée une citerne de 1 mètre de large environ sur 1 m. 30 de profondeur. Cette citerne est remplie d'eau, et si les gaz chauds du four passent au-dessus de l'eau, il se forme de la vapeur qui s'élève et favorise la condensation des fumées zincifères qui sont recueillies dans la citerne. Les fumées de zinc sont surtout formées d'oxyde de zinc qui est enlevé et vendu aux fondeurs de zinc. Un second réservoir est quelquefois placé dans la partie supérieure du tube-siphon ; l'écoulement de l'eau de ce réservoir favorise la condensation des fumées. La citerne inférieure a une section ovale plus grande que celle du tube-siphon ; la partie extérieure est munie d'un couvercle en fer qui la ferme hermétiquement et qui permet le nettoyage de la citerne.

Coulage du laiton.

§ 53. — Il faut beaucoup de soin et d'habileté pour cette opération ; et quoique le métal puisse être parfaitement réussi dans le four, le tout peut être perdu à la suite d'une

mauvaise coulée, si le laiton doit être employé à faire des feuilles ou des fils. On distingue deux modes de coulage : en lingots et en plaques. Dans la première méthode, le métal est versé dans des moules donnant des lingots ayant la forme de briques ; ces lingots sont refondus pour les pièces ordinaires ou pour d'autres alliages. Dans la deuxième, le laiton est versé dans des moules plats fermés, produisant une plaque de métal destinée à être laminée ou étirée.

§ **54**. — *Coulage en plaques.* — Les moules sont en fer et consistent en deux pièces attachées ensemble par un anneau et un coin, de façon à pouvoir être détachées facilement.

Les dimensions du moule varient considérablement suivant l'importance de la pièce à couler. Pour le laminage, les dimensions courantes sont 0 m. 09, 0 m. 10, 0 m. 11, 0 m. 15, 0 m. 18, 0 m. 20, 0 m. 23, 0 m. 25, 0 m. 31 de largeur, 0 m. 45 à 0 m. 70 de longueur et 16 à 22 mm. d'épaisseur. Pour le tréfilage, on fait des pièces de 89 mm. de largeur, 38 mm. d'épaisseur et 2 m. à 2 m. 50 de longueur.

Afin d'obtenir des pièces parfaites, le métal doit être coulé à une température déterminée ; si le métal est trop chaud, on a une coulée poreuse ; s'il est trop froid, le moule est imparfaitement rempli et le métal n'adhère pas exactement dans toutes les parties. Deux graves défauts peuvent donc se présenter dans les pièces coulées : les *soufflures* et la *non-homogénéité*. Si les métaux sont fondus dans des creusets ou des fours ordinaires, une certaine quantité d'air et des gaz, tels que l'hydrogène et l'oxyde de carbone, pénètrent dans le métal. Pendant le refroidissement, ces gaz s'échappent graduellement, et ce départ est favorisé par une agitation mécanique, effectuée ordinairement avec une tige de fer. Si le métal est versé à une trop haute température dans un moule fermé, quelques gaz seront retenus dans le métal, formeront

des cavités et donneront une apparence poreuse. C'est spécialement ce qui arrive si on opère sur une grande quantité : la surface se solidifie rapidement, pendant que l'intérieur reste fondu, de telle façon que les gaz ne peuvent plus s'échapper de l'intérieur. Il y a donc désavantage à refroidir une coulée trop rapidement. Le moule est alors chauffé préalablement. La meilleure manière de chauffer un moule est d'avoir une plaque de fer remplissant à peu près la cavité du moule, de la chauffer au rouge dans un four, et de la placer à l'intérieur du moule jusqu'à ce qu'on ait atteint la température voulue. Cette plaque est alors retirée, les deux moitiés du moule sont détachées, les surfaces intérieures sont huilées et saupoudrées avec du poussier de charbon de bois de façon à empêcher le métal d'adhérer au moule. Cette précaution est absolument nécessaire ; sans quoi, on obtient très souvent des pièces non saines et non homogènes. L'air est inévitablement entraîné dans le moule, et l'oxygène s'unit au charbon pour donner de l'oxyde de carbone ; l'hydrogène résulte de réactions secondaires, et si les gaz ne sont pas complètement chassés avant la solidification, ils produiront des cavités dans le métal. Il est alors convenable d'employer le moins possible de charbon et d'huile. Il vaut mieux garnir les moules avec un mélange de résine et d'huile de lard ; en fondant trois parties de résine avec une partie de la meilleure huile de lard, on obtient une masse de consistance sirupeuse, qui est appliquée à la surface du moule chaud au moyen d'un pinceau ordinaire. Au moyen de cette composition, on obtient des pièces saines meilleures et plus uniformes.

Une coulée non homogène est due à la présence d'impuretés dans le métal. La non-homogénéité provient aussi de particules isolées de métal à l'état non allié ; mais une cause plus com-

mune est la présence de charbon ou de scories entraînés dans le moule avec le métal ou détachés du côté du moule si l'huile ou le charbon ont été employés pour prévenir l'adhérence du métal. On devra toujours apporter grand soin à écumer le métal et à ne pas introduire de saletés dans le moule. Le métal doit être versé sous forme d'un courant clair et ininterrompu ; autrement il se produit des pailles qui mettent la pièce hors de service. Il était considéré comme impossible d'employer des moules en fer pour le coulage en plaques, car, à cause de l'inexpérience et de l'ignorance des conditions nécessaires au succès, les pièces étaient fréquemment mises au rebut. Les moules en terre étaient quelquefois employés, mais ils se brisaient facilement. Pour les petites pièces, on a employé, dans quelques fonderies, des moules en sable parfaitement sec ; mais le sable est exposé à se craqueler et à donner un mauvais métal. Dans la plupart des cas, on se sert de moules en granit qui sont regardés comme donnant les meilleurs résultats. La préparation des moules en granit demande beaucoup de soin ; il faut les garnir d'une faible couche d'argile de façon à assurer la plus grande uniformité de la surface des plaques. Cette argile est recouverte d'une faible couche de bouse de vache pour qu'elle ne craquelle point. Brannt donne une description de la méthode :

« Les moules en granit sont arrangés de la manière suivante : la plaque supérieure est suspendue au-dessus de la plaque inférieure, l'espace entre les deux est limité par des barres de fer placées sur la plaque inférieure, qui est un peu plus longue que la supérieure et se projette en avant pour former une lèvre ou cuvette destinée à recevoir le métal. Les plaques sont réunies ensemble par du fer, et s'élèvent d'un côté de façon à faire un angle de 45°, pendant que le métal est coulé. Lorsque l'opération est terminée et que le métal est

supposé solidifié, la pièce est retirée du moule. Avec des précautions suffisantes, de tels moules en granit peuvent être utilisés longtemps sans que la couche d'argile soit altérée, et les feuilles de laiton sont retirées très uniformes lorsque le moule a été chauffé par plusieurs opérations. Un seul et même moule est fréquemment employé d'une manière continue afin de le conserver chaud ; et s'il ne doit pas servir pendant quelque temps, on l'enveloppe dans un corps mauvais conducteur, comme un épais tapis, afin d'empêcher son refroidissement. Si le moule est endommagé, il doit être réparé avec soin, et les parties réparées excessivement bien séchées pour prévenir sa rupture. »

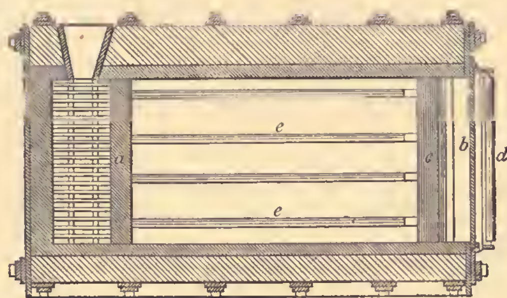


Fig. 9.

La pièce de laiton, après la coulée, est soigneusement inspectée et soumise à un nettoyage mécanique avant le laminage. Pendant le laminage, le laiton devient cassant et doit être recuit. Comme le recuit noircit le métal, à cause de la formation d'oxyde, il est bon de le tremper dans l'acide sulfurique dilué et même de le frotter avec du sable, et finalement de bien le rincer à l'eau. Les feuilles de laiton sont recuites dans un four à réverbère (fig. 9), construit de façon à prévenir l'oxydation du métal autant que possible. L'autel *a* est haut, et la porte de chargement *b* est en avant. Les gaz

perdus et chauds s'en vont par le tuyau *c*. Pour faciliter le chargement et le déchargement des feuilles, un rouleau *d* est disposé en avant de la porte *b*, et sur le sol même du four, on installe des barres *ee* de fonte mobiles qui favorisent le glissement des feuilles, et qui les isolent aussi des briques de la sole pendant le chauffage.

Les fours à recuire chauffés au moyen des gazogènes Wilson ont été beaucoup perfectionnés depuis quelques années dans le Lancashire ; il est reconnu que l'on obtient maintenant des lames de laiton admirables comme couleur et condition de surface.

Après le passage à travers les laminoirs, le laiton doit être ou doux et flexible, ou dur et élastique. Pour l'avoir doux, les feuilles métalliques sont finalement recuites ; pour l'avoir dur, on passe le métal deux ou trois fois dans le laminoir après lé dernier recuit.

Les plaques de laiton destinées au tréfilage sont d'abord laminées jusqu'à la limite convenable pour obtenir la finesse nécessaire. Cette opération préliminaire est non seulement avantageuse pour avoir un métal d'une certaine épaisseur, mais le traitement mécanique donne au laiton une plus grande résistance et une plus grande ductilité que si le métal était débité en morceaux de dimensions données par la machine à fendre sans passer d'abord sous les cylindres du laminoir. Le métal en feuilles est d'abord coupé en bandes, et celles-ci en baguettes au moyen de la machine à fendre. Cette machine consiste en broches portant des disques d'acier, fixés à des intervalles convenables ; ils sont disposés de façon que ceux de la broche supérieure se projettent dans les espaces qui séparent ceux de la broche inférieure ; l'ensemble constitue une machine à cisailler rotative. En plaçant l'une des extrémités d'une bande de laiton entre les guides, elle est tirée en avant

par les disques et coupée en baguettes, qui, s'il est nécessaire, sont elles-mêmes coupées à la longueur donnée.

Le métal en feuilles excessivement minces, connu sous le nom de métal hollandais, n'est pas produit par le laminage seul, mais par l'emploi combiné du laminage et du martelage. Le métal est coulé en plaques minces et réduit à une certaine épaisseur par laminage jusqu'à ce qu'on obtienne une fine lame ; il est nécessaire de recuire souvent. La lame est alors coupée en morceaux de 25 mm.² environ, et un grand nombre de ces morceaux sont empilés, chaque pièce étant séparée de l'autre par un papier spécialement préparé ; le tout forme un paquet renfermé dans du parchemin. Le paquet est alors martelé sur un bloc pendant quelque temps avec un lourd marteau, jusqu'à ce que chaque pièce ait ses dimensions 16 fois plus grandes que ses dimensions primitives. Ces feuilles sont alors coupées en quatre, et les pièces ainsi obtenues sont remises en paquets comme précédemment ; on intercale de la baudruche entre chaque feuille ; le battage est alors recommencé jusqu'à ce qu'on ait obtenu le degré désiré de finesse. Pour prévenir le craquelage des feuilles de métal, il est nécessaire de faire un recuit soigné à différents stades de l'opération.

§ 55. — *Coulage en lingots.* — Cette opération demande moins de précaution que le coulage en plaques ; cependant, si le métal est employé pour fabriquer des articles divers dans des moules en sable, il faut autant de soin que pour le coulage en plaques. Les creusets sont les mêmes que ceux décrits précédemment, et le métal est directement versé dans les moules. Les creusets des fondeurs de laiton sont en plombagine mélangée à l'argile et au poussier de coke en proportions variables ; il en a déjà été donné une description. Quoique plus coûteux que ceux d'argile, ils durent plus long-

temps et résistent à un plus grand nombre de fusions ; ils sont généralement adoptés

§ **56**. — *Étuve à air sec.* — Le tuyau venant du four à fusion est ordinairement disposé pour chauffer l'étuve ; à cet effet, il passe au-dessous. Si on ne peut pas employer un tel arrangement, on se sert d'une grille à feu ordinaire. Dans les deux cas, le tuyau passe sous l'étuve, et le cintre est construit avec des briques réfractaires de forme spéciale. Les dimensions de ces étuves varient ; ainsi celles employées pour sécher les noyaux des moules à tubes ont généralement 1 m. 80 de long, 0 m. 10 à 0 m. 13 de large et pas moins de 0 m. 15 de haut. Le fond est constitué par des plaques de fonte de 25 mm. d'épaisseur, et percées de trous de 6 mm. pour permettre le passage de la chaleur. Toutes les étuves sont semblables quant à la construction ; il n'y a de différence que dans la disposition des tablettes sur lesquelles on met sécher les noyaux des moules.

Moulage et coulage.

§ **57**. — La fusibilité que beaucoup de métaux possèdent permet de fabriquer des articles variés à l'aide d'un modèle, qui est reproduit dans le sable ou une substance susceptible d'en prendre la forme ; il suffit de verser le métal fondu dans la cavité ainsi obtenue. Le métal solidifié sera la contre-partie exacte de ce qui est imprimé dans le sable.

Le terme *moulage* comprend les différentes opérations concernant la préparation du moule proprement dit, et le terme *coulage* s'applique à l'opération complète de la reproduction du métal ; il est donc plus général que le précédent. Les principaux matériaux employés pour le moulage sont le sable d'espèces différentes, l'argile, le plâtre de Paris, le noir de fumée, etc.

Le sable est le plus communément usité ; c'est certainement le plus parfait et le plus convenable des matériaux pour le moulage ; les propriétés qui le font apprécier sont sa porosité, son adhésion, sa mobilité, son infusibilité pratique et son inaltérabilité. A cause de sa nature poreuse, les gaz produits pendant la coulée du métal peuvent facilement s'échapper ; ses propriétés d'adhérence permettent d'avoir une reproduction exacte d'un modèle donné, et le métal est bien retenu lors de la coulée ; sa mobilité lui donne suffisamment la faculté d'épouser les plus fins détails du modèle si l'on exerce une pression ; en vertu de son infusibilité et de son inaltérabilité chimique, la chaleur du métal fondu ne le fond pas et ne modifie pas sa composition chimique. Les meilleures espèces de sable pour moulage de laitons ont une composition chimique presque identique ; elles ne varient que par les dimensions des grains ou leur état d'agrégation. Le sable contient :

Silice	93 à 95
Argile.	6 à 3
Oxyde de fer.	1 à 2

Le sable contenant d'autres oxydes métalliques, comme la chaux et la magnésie, est trop faible ou trop compact, c'est-à-dire qu'il ne conservera pas sa forme ou qu'il déterminera un bouillonnement du métal, le gaz ne pouvant pas s'échapper librement. Si l'oxyde de fer est en quantité plus grande qu'il n'est indiqué ci-dessus, le sable aura une tendance à fondre, à s'agglomérer et former des vésicules à la surface du métal, à favoriser le dégagement des gaz et provoquer des soufflures dans l'intérieur de la pièce. Chaque espèce de travail demande une variété de sable. Tantôt il faudra employer un sable poreux et adhérent, tantôt il faudra se servir d'un

sable très fin, exempt de grès, très adhérent, de façon à se conformer aux parties les plus fines du modèle.

Le meilleur sable pour moulage se trouve souvent sur les rives des grands fleuves, dans le voisinage des montagnes de granit ou d'ardoise, dans les régions carbonifères où les bancs des rivières sont surtout formés de sable. Dans quelques localités, il contient trop d'oxyde de fer et est plus fusible ; mais on peut remédier à cet inconvénient en le mélangeant à du poussier de charbon de terre. Kampmann dit qu'on peut faire artificiellement un bon sable pour moulages de la façon suivante :

Sable quartzeux fin	93
Ocre rouge anglais.	2
Alumine, le moins calcaire possible . .	5

Sable à noyaux. — Ce sable doit être gras, poreux et très adhérent, comme le sable fin provenant de l'érosion des roches ; le sable des rivières ou du bord de la mer et les scories des hauts-fourneaux en poudre sont souvent mélangés avec du sable fin, et un peu d'argile pour rendre adhérent. Chaque fois, on doit employer du sable frais, car le vieux sable, le sable brûlé ou le sable mélangé au charbon ne sont pas convenables. Une partie d'argile avec neuf de sable donnent une matière suffisamment bonne pour les noyaux petits et simples ; mais pour les pièces compliquées et volumineuses, il faut employer un sable de meilleure qualité.

Sable sec. — On a besoin d'une substance ne retenant pas l'humidité. On préfère les briques rouges pilées, mais le sable blanc, le sable de mer et de rivière et les scories des hauts-fourneaux sont aussi employés.

Sable fin. — Dans quelques variétés de sable, quand le métal fondu peut venir en contact immédiat, il se produit une vitrification superficielle, et par suite la pièce devient

Remarques sur le précédent tableau. — Les nombres de la colonne 6 représentent l'intensité de teinte de la même couleur. Dans la colonne 7, les lettres sont des abréviations pour les caractères des cassures d'après la nomenclature de Mallet; ainsi F.F., finement fibreux; C., conchoïdal; V. C., vitreux-conchoïdal; F. C., finement cristallin; G. C., grossièrement cristallin. La résistance à la traction était déterminée sur des prismes d'une section égale à 1/4 pouce carré (1,60 *cq.*), sans que l'échantillon ait été martelé ou comprimé après la coulée, et les poids donnés sont ceux que chaque prisme supportait pendant quelques secondes avant la rupture.

« Le n° 6 ressemble au *tombac* comme couleur, mais il n'est pas aussi bon pour le laminage, le martelage ou l'étirage en fils que le laiton rouge ordinaire, qui contient relativement moins de cuivre par rapport au zinc.

« Le n° 8 se rapproche beaucoup du tombac, dont les propriétés sont les mêmes au point de vue du travail.

« Le n° 10 est celui dans lequel la couleur rouge commence à passer à la couleur jaune laiton; il se comporte très bien dans le laminage, le martelage et l'étirage en fils.

Le n° 13 a les mêmes qualités que le laiton ordinaire. Karsten remarque que c'est cet alliage qui a été recherché pendant quelque temps en Angleterre sous le nom d'*or-mosaïque*.

« Le n° 14 ne diffère pas du laiton ordinaire quant à ses qualités de travail.

« Le n° 16 contient 4 0/0 de zinc de plus et 4 0/0 de cuivre de moins que le laiton ordinaire. La couleur n'est pas plus pure que celle du laiton, mais cet alliage a une teinte rougeâtre; il se travaille excessivement bien dans le laminage, le martelage et l'étirage en fils.

« Le n° 19 est beaucoup recommandé à cause de sa couleur d'or, et quoique plus tenace et moins dur que le précédent, il

est sec. Bien adapté pour les produits coulés. Très flexible après une coulée, s'il est encore chaud. Froid, il est difficile à couper, et est plutôt cassé que coupé. Les lingots, après être coupés, recuits et refroidis, ne peuvent plus être laminés. Si après avoir été chauffés et refroidis à la température de l'eau bouillante, ils sont laminés, on obtient des feuilles très cassantes, fragiles, très craquelées sur les bords, à moins qu'on ait eu recours à de fréquents recuits pendant le laminage ; cet alliage est tout à fait impropre au laminage, au martelage et à l'étirage en fils.

« Le n° 20 est flexible pendant qu'il est très chaud. Il se lamine assez bien à froid, quoique fréquemment il se fendille sur les bords. Si on le lamine en feuilles minces, il faut le recuire plus souvent que le laiton commun. Il ne peut pas être soudé, car il fond à la même température que la soudure. Il ne convient pas pour l'étirage en fils.

« Le n° 21 a une cassure dont l'aspect est réticulé. Il est assez tenace, mais par le martelage, il devient si cassant qu'à aucune température, on ne peut l'étirer pour les besoins pratiques.

« Le n° 22 a un brillant si peu métallique qu'on le reconnaîtrait difficilement comme un alliage métallique. Son extrême aigreur et sa fragilité, combinées à sa cassure parfaitement conchoïdale et unie, lui donnent plutôt l'aspect d'un composé sulfuré que celui d'un mélange de deux métaux.

« Le n° 23 est plus sec que le précédent ; sa cassure est unie, même légèrement conchoïdale ; il a un grand brillant métallique.

« Les n°s 25, 26, 27, 28, 29 et 30 sont très secs, trop durs pour être étirés ou tournés ; leur éclat est presque égal à celui du métal à miroirs.

« Le n° 31 est à peine malléable.

« Le n° 32 est sec ; sa cassure est granulée, grossière ; assez tenace, il ne peut être travaillé sous le laminoir ou le marteau.

« Le n° 33 est sec.

« Le n° 34 ressemble beaucoup au précédent, quant à ses propriétés.

« Le n° 36 est sec.

« Le n° 38 a une cassure finement granulée.

« Le n° 39 a une ténacité suffisante pour être travaillé au laminoir et au marteau, mais après le recuit, il ne supporte pas le refroidissement. »

§ 25. — Propriétés des alliages cuivre-zinc recueillies par la Commission des alliages des États-Unis (*Report*, vol. II, 1881)

Nos	Formule atomique.	Composition originale.		Composition d'après analyse		Poids spécifique.	Couleur	Cassure.	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative (Thurston).	Ordre de malléabilité.	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag = 100	Conduct. électrique. Ag = 100	Autorité	Remarques
		Cu.	Zn.	Cu.	Zn.													
1	»	100	0	»	»	8,874	rouge	fibreuse	19,5	8	30,8	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
2	»	100	0	»	»	8,667	rouge-brique	friable	38,8	»	»	1	22	15	»	»	Ml.	»
3	»	100	0	»	»	8,921	»	»	»	»	»	»	»	»	»	93,16	Ma.	»
4	»	100	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	30,1	»	81,1	»	C.J.	»
5	»	100	0	»	»	8,952	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Mar.	Cuivre en feuilles.
6	»	100	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	73,6	79,3	Wo.	»
7	»	100	0	»	»	8,672	»	»	17,1	»	»	»	»	»	»	»	We.	Moyenne de 9 essais.
8	»	99,15	0,85	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Tombac pour boutons.
9	»	97,8	2,2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Tombac rouge de Vienne.
10	»	97,5	2,5	97,83	1,88	8,791	rouge-jaunâtre	vésiculaire	19,2	»	118,9	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
11	»	97,2	2,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Essieux de chem. de fer; poreux.
12	»	95	5	96,07	3,79	8,825	rouge-jaunâtre	vésiculaire	8,1	»	37,9	»	»	»	»	»	U.S.B.	Barre défectueuse.
13	»	93,6	6,4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Bec de pince.
14	»	92,5	7,5	92,32	7,68	8,746	rouge jaunâtre	vésiculaire	»	»	»	»	»	»		»	U.S.B.	»
15	»	92,5	7,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Coussinets (Autriche).
16	»	92	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Tombac rouge de Paris.
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	»	[illegible]	»	»	»	»	[illegible]	[illegible]	»	»	Bo. Ml.	Tombac. »

															»	»	Bo.	Oréide franç.
		[illegible]	[illegible]	»	»	[illegible]	jaune-rougeât.	fin. crist.	18,1	4	»	11	20	13	»	»	Ml.	»
23	»	88.89	11,11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	27,3	25,5	We.	»
24	Cu^8Zn	88,6	11,4	»	»	8,663	jaune-rougeât.	fin. crist.	20,2	2	»	10	19	12	»	»	Ml.	»
25	»	87,5	12,5	88,94	10,97	»	rouge-jaunâtre	vésiculaire	»	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
26	Cu^7Zn	87,3	12,7	»	»	8,587	»	fin. crist.	20,8	9	»	9	18	11	»	»	Ml.	»
27	»	86,67	13,33	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	29,9	30,9	We.	»
28	»	86,38	13,61	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Pièces très délicates
29	»	86	14	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Ornements de Hanovre
30	»	85,5	14,5	»	»	8,591	rouge-jaunâtre	fin. fibreuse	22,2	5	»	8	17	10	»	»	Bo.	Oréide franç.
31	Cu^6Zn	85,34	14,66	»	»	8,71	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ml.	»
32	»	85,3	14,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécial de la poudre : 8,584
33	»	85	15	89,8	10,06	8,656	jaune-rougeât.	friable	»	»	250,1	»	»	»	»	»	Bo.	Joaillerie de Paris
34	»	85	15	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
35	»	84,6	15,4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Tombac d'Oker
36	»	84,21	15,79	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Feuille d'or
37	»	83,99	17,1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Tombac pour boutons
38	Cu^5Zn	83,02	16,98	»	»	8,415	jaune-rougeât.	fin. crist.	21,6	11	»	2	16	9	»	»	Bo.	Poudre de bronze
39	Cu^5Zn	82,95	17,05	»	»	8,673	»	»	»	»	»	»	427,08	»	71,5	»	Ml.	Métal de Bath
40	»	82,54	17,46	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	C. J.	»
41	»	82,5	17,5	82,93	16,98	8,633	jaune-rougeât.	friable	22,9	»	105,3	»	»	»	»	»	Bo.	Alliage pour joaillerie
42	»	82,46	17,54	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	31,1	29,02	U.S.B.	»
43	»	82,3	17,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	We.	»
44	»	80	20	81,91	17,9	8,598	jaune	friable	23,0	»	113,1	»	»	»	»	»	Bo.	Ornements

Propriétés des alliages cuivre-zinc (*suite*)

N°s	Formule atomique.	Composition originale.		Composition d'après analyse		Poids spécifique.	Couleur	Cassure.	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative. (Thurston).	Ordre de malléabilité. (Mallet).	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag=100	Conduct. électrique. Ag=100	Autorité	Remarques
		Cu.	Zn.	Cu.	Zn.													
45	Cu^4Zn	79,65	20,35	»	»	»	rouge-jaunâtre	fin. crist.	37,3	7	»	3	15	8	»	»	U.S.B.	»
46	Cu^4Zn	79,56	20,44	»	»	8,650	»	»	»	»	»	»	468,75	»	66,6	»	Ml.	Métal hollandais
47	Cu^4Zn	79,51	20,49	»	21,8	8,638	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	C. J.	»
48	»	77,9	22,1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécial de la poudre : 8,367
49	»	77,5	22,5	77,39	22,45	8,574	jaune	friable	25,0	»	97,5	»	»	»	»	»	Bo.	Feuille d'or de Vienne
50	»	75,7	24,3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
51	»	75	25	76,65	23,08	8,528	jaune	friable	21,5	»	76,7	»	»	»	»	»	Bo.	Métal Bristol
52	»	74,62	25,38	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
53	Cu^3Zn	74,58	25,42	»	»	8,397	jaune-pâle	fin. crist.	20,6	10	»	1	14	7	»	»	Ml.	Feuilles de laiton lamin.
54	Cu^3Zn	74,48	25,52	»	»	8,576	»	»	»	»	»	»	468,75	»	63,8	»	C. J.	Laiton de 32 Cu et 12 Zn
55	»	72,73	27,27	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	»
56	»	72,5	27,5	73,2	26,47	8,465	jaune	friable	22,2	»	88,7	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
57	»	72	28	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Chrysorine
58	»	71,5	28,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Tombac
59	»	70,1	29,9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Convenable p^r le forgeage
60	»	70	30	71,2	28,54	8,444	jaune	friable	21,4	»	77,8	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
61	»	67,74	32,26	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	25,8	25,4	We.	»
62	»	67,54	32,46	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Convenable p^r le forgeage
63	»	67,5	32,5	69,74	30,06	8,384	jaune	friable	19,8	»	48,1	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
64	»	67,2	32,8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal Bristol
65	»	66,7	33,3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Chrysorine
																	Bo.	Laiton comm.

																		8.39.
72	»	65,4	34,6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Bon fil de laiton.
73	»	65,3	34,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Or mosaïque.
74	»	65	35	66,27	33,5	8,371	jaune-rougeât.	friable	26,6	»	72,8	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
75	»	65	34,76	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Forgeable.
76	»	63,5	36,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	id.
77	»	62,5	37,5	63,44	36,36	8,411	jaune-rougeât.	friable	34,0	»	60,6	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
78	»	61,25	38,75	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Soudure forte pour laiton.
79	»	60,8	39,2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal Bristol.
80	»	60,16	39,71	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Forgeable.
81	»	60	40	60,94	38,65	8,405	jaune-rougeât.	friable	28,9	»	49	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
82	»	60	40	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	•	Métal de Müntz.
83	»	59,5	40,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Doublage des navires.
84	Cu^3Zn^2	59.36	40,64	»	»	8,224	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr.	»
85	Cu^3Zn^2	59,26	40,74	»	40,10	8,412	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécif. de la poudre : 8.239.
86	»	58,33	41,77	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Forgeable.
87	»	57,5	42,5	58,49	41,10	8,363	jaune-rougeât.	friable	35,5	»	12,1	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
88	»	55	45	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal de Bath.
89	»	55	45	55,15	44,44	8,283	jaune-rougeât.	friable	31,2	»	19,5	»	»	»	»	»	U. S.B.	»
90	»	54,9	45,1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Très ductile.
91	»	54	46	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	id.
92	»	52,5	47,5	54,86	44,76	8,301	jaune-rougeât.	grossièremt granulée	32,6	»	7,4	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
93	»	50	50	49,66	50,14	8,291	id.	id.	21,8	»	3,1	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
94	Cu Zn	49,47	50,53	»	»	8,230	jaune foncé	grossièremt cristalline	14,5	12	»	5	12	6	»	»	Ml.	Lait on allemand.
95	Cu Zn	49,32	50,68	»	»	7,808	»	»	»	»	»	»	604,17	»	68,8	»	C. J.	»

Propriétés des alliages cuivre-zinc (*suite*).

N°ˢ	Formule atomique.	Composition originale.		Composition d'après analyse		Poids spécifique.	Couleur	Cassure.	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative (Thurston).	Ordre de malléabilité.	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag=100	Conduct. électrique. Ag=100	Autorité	Remarques
		Cu.	Zn.	Cu.	Zn.													
96	Cu Zn	49,23	50,76	»	56,30	8,304	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécifique du lingot: 8,263.
97	»	47,5	52,5	48,95	50,82	8,216		grossièrement granulée	18,3	»	0,36	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
98	»	45	55	47,56	52,28	»		id.	17,0	»	0,26	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
99	»	43	57	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Cache entrées
100	»	42,5	57,5	43,36	56,22	8,035		finement granulée	6,8	»	0,02	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
101	»	40	60	41,3	58,12	8,061	blanc d'argent	vitreuse conchoïdale	2,6	»	0,01	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
102	Cu^2Zn^3	39,27	60,73	»	60,35	8,171	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécifique du lingot: 8,039.
103	»	37,5	62,5	38,36	61,05	7,982	blanc d'argent	vitreuse conchoïdale	2,2	»	0,02	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
104	Cu^3Zn^5	36,88	63,12	»	»	7,939	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr.	»
105	»	35	65	36,62	62,78	7,974	blanc-d'argent	vitreuse conchoïdale	1,9	»	0,006	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
106	$Cu\ Zn^2$	33,34	66,66	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Soudure forte pour laiton.
107	$Cu\ Zn^2$	32,85	67,15	»	»	8,283	jaune-foncé	grossièrement cristalline	30,4	1	»	7	10	6	»	»	Ml.	Laiton pour horlogers ?
108	$Cu\ Zn^2$	32,74	67,26	»	»	7,859	»	»	»	»	»	»	rompu	»	42,8	»	C. J.	»
109	$Cu\ Zn^2$	32,66	67,34	»	64,8	8,048	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécifique du lingot: 7,796.
110	»	32,5	67,5	35,68	63,71	7,966	blanc-d'argent	vitreuse conchoïdale	1,7	»	0,11	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
111	Cu^8Zn^{17}	31,52	68,48	»	»	7,721	id.	conchoïdale	3,3	0	»	22	5	5	»	»	Ml.	Très cassant.
112	Cu^8Zn^{18}	30,3	69,7	»	»	7,836	id.	vitreuse conchoïdale	3,5	0	»	23	6	5	»	»	Ml.	id.
113	»	30	70	32,94	66,23	7,811	id.	id.	1,2	»	0,005	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
114	Cu^8Zn^{19}	29,17	70,83	»	»	8,019	gris-d'argent	conchoïdale	1,1	0	»	21	7	5	»	»	Ml.	Très cassant.
115	Cu^8Zn^{20}	28,12	71,88	[illegible]	[illegible]	7,603	gr.cend.	vitreuse	5,0	0	»	19	3	5	-	»	Ml.	Cassant.

							cendré	cristalline									Ml.	Malléable en barres.
121	»	25	75	»	»	7,675	gris-bleu	finement granulée	6,8	»	0,002	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
122	Cu Zn[3]	24,64	75,36	»	»	7,736	id.	»	»	»	»	»	rompu	»	53,1	»	C. J.	»
123	Cu Zn[3]	24,5	75,5	»	»	7,449	gris-cendré	finement cristalline	8,0	0	»	16	2	4	»	»	Ml.	Cassant.
124	»	22,5	77,5	22,12	77,43	7,416	gris-bleu	finement granulée	4,9	»	0,004	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
125	»	20	86	20,81	77,63	7,418	id.	id.	6,3	»	0,002	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
126	»	20	80	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal pour boutons.
127	Cu Zn[4]	19,65	80,35	»	»	7,371	gris-eendré	finement cristalline	3,0	0	»	14	4	3	»	»	Ml.	Métal pour boutons blancs
128	Cu Zn[4]	19,57	80.43	»	»	7,445	»	»	»	»	»	»	rompu	»	58,9	»	C. J.	»
129	Cu Zn[4]	19,52	80,48	»	79,3	7,863	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécifique du lingot: 7,215.
130	»	17,5	82,5	17,49	81,62	7,225	gris-bleu	finement granulée	3,8	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
131	Cu Zn[5]	16,36	83,64	»	»	6,605	gris très sombre	finement eristalline	2,8	0	»	17	11	2	»	»	Ml.	Cassant.
132	Cu Zn[5]	16.30	83,7	»	»	7,44	»	»	»	»	»	»	rompu	»	59,5	»	C. J.	»
133	»	15	85	14,19	85,1	7,163	gris bleu	finement granulée	6,0	»	0,004	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
134	»	12,5	87,5	12,12	86,67	7,238	id.	id.	8,7	»	0,009	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
135	Cu Zn[8]	10,82	89,18	»	89,9	7,315	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Poids spécifique du lingot: 7.298.
136	»	10	90	10,3	88,88	7,253	gris-bleu	finement granulée	10,2	»	6,1	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
137	»	7,5	92,5	7,2	92,07	7,131	id.	id.	7,5	»	8,04	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
138	»	5	95	4,35	94,59	7,108	id.	finement cristalline	12,7	»	0,84	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
139	»	2,5	97,5	2,45	97,43	7,08	gris-bleu.	tabulaire eristalline	8,0	»	2,67	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
140	»	0	100	»	»	7,143	blanc-bleu.	id.	3,8	»	26,51.	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
141	»	0	100	»	»	6,895	gris-bleu.	id.	24,0	»	»	12	23	1	»	»	Ml.	Cassant.
142	»	0	100	»	»	7,148	»	»	»	»	»	»	»	»	29,02	27,39	Ma.	»
143	»	0	100	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	62,8	»	C. J.	»
144	»	0	100	»	«	»	»	»	»	»	»	»	»	»	28,1	27,3	We.	»

Liste des auteurs cités dans le tableau précédent.

Bo. — *Bolley.* — Essais et recherches chimiques, Paris, 1869.

Cr. — *Croockwitt.* — Erdmann's Journal, 1848, p. 87-93.

C. J. — *Calvert et Johnson.* — Phil. Mag., 1850, p. 354-359 ; 1859, p. 114-121 ; 1858, p. 381-383.

Ma. — *Matthiessen.* — Phil. Trans., 1860, p. 161-164; 1864, p. 167-200.

Ml. — *Mallet.* — Phil. Mag., 1842, p. 66-68.

Ri. — *Riche.* — Ann. Ch. Ph., 1873, p. 351-410.

U. S. B. — Rapport de la commission des alliages métalliques établie par les États-Unis. — Thurston's Investigations.

We. — *Wiedemann.* — Pogg. Annalen, 1859, p. 393-407.

Le professeur Thurston, qui dirigeait les travaux de la Commission des États-Unis, fait les remarques suivantes sur le tableau précédent :

« Pour les alliages étudiés par Bolley, on trouvera la composition, le nom commercial ainsi que leurs usages particuliers dans la colonne des remarques ; mais il n'y a pas de résultats numériques semblables à ceux donnés par les autres auteurs. Les mêmes propriétés et le même nom sont donnés par Bolley à des alliages de différentes compositions ; tels sont ceux qui sont indiqués dans la colonne des remarques comme propres au forgeage. Il pouvait être supposé que de telles propriétés appartenaient à ces alliages, et non à d'autres de composition similaire. Cependant il semble probable que si deux alliages de cuivre et de zinc de composition différente sont trouvés avoir la même résistance, la même couleur, la même cassure, la même malléabilité, il sera

trouvé aussi que les alliages entre ces compositions posséderont les mêmes propriétés ; par suite, au lieu des alliages particuliers cités seulement pour le forgeage, tous les alliages compris entre les compositions extrêmes posséderaient aussi cette propriété.

« Les nombres donnés par Mallet relativement à la ductilité, à la malléabilité, la dureté et la fusibilité, sont tels que le maximum, pour chacune de ces propriétés, est représenté par 1.

« Les nombres donnés par Mallet pour la ténacité sont confirmés par les expériences de l'auteur, sauf quelques exceptions très marquées, qui sont relatives au cuivre, au zinc et à $CuZn^2$ (32,85 Cu et 67,15 Zn). Les nombres donnés par Mallet pour $CuZn^2$ ne peuvent être expliqués, d'après l'auteur, qu'en supposant que l'alliage essayé n'était pas $CuZn^2$, mais un autre contenant plus de cuivre, probablement 55. Le poids spécifique, 8,283 d'après Mallet, et la couleur l'indiquent. La ductilité ferait même penser à un pourcentage encore plus élevé. Le nom de laiton d'horloger donné dans la colonne des remarques doit être une erreur, car cet alliage est sec, blanc d'argent et extrêmement faible.

« Les nombres de Calvert et Johnson, de Riche, ainsi que ceux de l'auteur, donnent une courbe plus régulière que ceux de Mallet.

« Les poids spécifiques dans les expériences de Riche étaient obtenus, soit avec les lingots, soit avec la poudre ; tantôt une méthode, tantôt l'autre, ont donné des résultats plus forts. Dans le tableau, les nombres donnés sont ceux qui sont probablement les plus exacts, qu'ils aient été déterminés, soit avec un lingot, soit avec la poudre ; dans chaque cas, les résultats obtenus par la dernière méthode sont indiqués dans la colonne des remarques. Les nombres de Riche

et de Calvert et Johnson sont à peine suffisants pour montrer la loi reliant le poids spécifique à la composition et les courbes obtenues varient considérablement. Ceux de l'auteur étant beaucoup plus nombreux que ceux des expérimentateurs antérieurs, on a eu une courbe beaucoup plus régulière, spécialement dans la série comprenant les alliages jaunes ou utiles. L'irrégularité observée dans la partie de la courbe relative aux métaux gris-bleuâtre est due, sans doute, aux soufflures ; les poids spécifiques ont en effet été déterminés sur de gros échantillons. S'ils avaient été pris avec de la poudre, il est probable que la suite des observations aurait été plus régulière et que ces alliages auraient un poids spécifique plus grand que 7,143, qui est celui obtenu par le zinc fondu. Le nombre de Matthiessen pour le zinc pur (7,148) s'accorde tout à fait avec celui obtenu par l'auteur pour le zinc fondu, qui contenait encore environ 1 0/0 de plomb.

« Les nombres relatifs à la dureté, donnés par Calvert et Johnson, étaient obtenus au moyen d'un instrument dentelé. L'échelle de comparaison est telle que le nombre relatif à la fonte est 1000. Les alliages qui sont indiqués avec le mot *rompu* étaient beaucoup plus durs que la fonte et l'instrument les brisait au lieu de faire une dentelure. Les nombres relatifs aux alliages contenant 17,05 — 20,44 — 25,52 et 33,94 de zinc sont à peu près les mêmes ; ils varient seulement de 427,08 à 472,92. Ceci correspond à ce qui a été établi relativement à la similitude de la résistance, de la couleur et des autres propriétés des alliages entre ces compositions. »

rugueuse. Si le sable cru est trop grossier, le métal pourra pénétrer dans les interstices et produire une pièce dartreuse. Pour éviter ces défauts, le sable est recouvert d'un fin poussier de charbon ou de matière charbonneuse. Le graphite et le poussier de charbon n'adhèrent pas bien au vieux sable ; le moule sera chaque fois enduit de noir de fumée très fin, puis de charbon de bois. La poudre de charbon de bois est aussi mélangée avec 1/10 de son volume de sable fin et employée alors pour la fabrication des petites pièces.

Le succès du coulage ne dépend pas seulement de l'habileté du fondeur, mais aussi de celle du modeleur. Si on utilise un modèle en bois, on a quelquefois recours au pin, à l'acajou, au chêne et à d'autres espèces. Le bois de buis est le plus communément employé. Le modèle est de dimensions plus grandes que celles de la pièce, environ 2 centimètres par mètre pour le retrait et le fini. Les modèles, s'ils ont leurs faces à angles droits, peuvent modifier l'impression dans le sable au moment où on les retire ; aussi leur donne-t-on de la dépouille. Les angles vifs dans un modèle doivent être évités autant que possible, car ils laissent une arête de sable susceptible de se casser lorsqu'on enlève le modèle, et de produire un défaut dans la pièce. On remédie à un tel défaut dans le moule en remettant du sable aux endroits brisés avant la coulée. Les modèles en bois doivent être ou vernis ou enduits de plombagine pour les garantir de l'humidité et pouvoir les retirer plus facilement du sable. La cire d'abeilles et le plâtre de Paris sont employés pour boucher les trous et les craquelures dans le bois. Il arrive souvent qu'on a besoin d'un modèle permanent ; à l'aide d'un modèle en bois, on en reproduit un métallique qui est alors employé pour la fabrication des pièces. Dans ce cas, le modèle en bois doit être fait plus grand que ne le seront les articles

finis, pour permettre le double retrait et le dressage de la pièce. Quelquefois il faut que les modèles soient munis de chevilles pour permettre de les retirer aisément du sable.

Outre le bois et le métal, on emploie souvent l'argile, le plâtre de Paris et la cire pour la fabrication des modèles.

Le sable de moulage est maintenu au moyen de châssis en fer, peu hauts, ouverts au-dessus et au-dessous, et appelés châssis de moulage. Les dimensions de ces appareils varient, chaque côté ayant environ une profondeur de 75 mm. Un châssis comprend deux parties, l'une munie de goujons, l'autre de mortaises. Au chapeau (châssis à goujons) et au corps (châssis à mortaises), on ajoute souvent un troisième châssis, la *chape*.

§ **58**. — *Moulage en couche ou couchis.* — Le sable est d'abord mouillé avec de l'eau et passé à travers un tamis ayant environ 2 mailles au centimètre. Notons ici que le sable noir ou vieux ne se maintient pas aussi bien que le sable cru, car il contient du noir de fumée, du charbon de bois et de la poussière de brique ; probablement, les arêtes aiguës des particules de sable sont usées par un emploi fréquent et ne peuvent pas se réunir ensemble. Le sable noir expose à produire des soufflures dans les pièces, car il n'est pas suffisamment poreux pour permettre à l'air et aux autres gaz de s'échapper.

On place d'abord un des châssis, le châssis à mortaises, sur une planche plate, on saupoudre l'intérieur avec du sable sec, on ajoute un peu de sable cru et on remplit avec du sable noir. Le sable est fortement tassé avec les paumes des mains, puis avec un maillet. La surface est raclée avec une pièce de bois à arêtes ; on place une planche sur le dessus, et le tout avec son contenu est retourné.

Les modèles sont soigneusement posés sur le moule, et on

secoue au-dessus un sac de poussière ; on a ainsi un contour net des modèles sur le sable dont on enlève une quantité suffisante pour que les modèles pénètrent à moitié. La couche, qui est toujours le chapeau, est alors fixée au châssis inférieur, puis on ajoute du sable sec, un mélange de sable sec et de sable noir, et finalement on complète avec du sable noir. Le sable fin qui est quelquefois mélangé au sable noir, moitié par moitié, doit être pulvérisé dans un mortier et passé à travers un fin tamis. Le sable de la couche doit être tassé aussi bien que possible, car le succès futur de l'opération dépend de la compacité. Une planche est alors placée sur le haut, et le châssis retourné ; l'autre planche, qui forme maintenant le dessus, est frappée à coups de maillet pour ébranler les modèles, et le corps est retiré et démonté.

La couche contient les modèles et est maintenant prête à en prendre le moule. Un châssis qui est un corps est fixé à la couche ; on y comprime du sable, on le couvre avec une planche et on retourne le tout. Les modèles sont alors détachés en frappant le dessus de la planche, et la couche qui porte maintenant l'impression parfaite de la moitié de chacun des modèles, est enlevée, laissant les modèles dans le corps. Un châssis contenant des chevilles est alors fixé au corps, du sable y est ajouté et pressé comme avant. Ce chapeau est retiré et placé à côté, laissant les modèles dans le corps. La couche est alors placée sur le corps, le châssis du moulage renversé à nouveau, les modèles détachés avec le marteau, et le corps enlevé laissant les modèles dans la couche prête à servir de nouveau. On voit ainsi que la couche est employée plusieurs fois pour faire d'autres moules, un groupe de cinq à six moules constituant une charge. Le travail de six charges de laiton ordinaire demande une journée. Le nombre

des moules constituant une charge est réglé cependant par la dimension des creusets et le poids des pièces.

Avant que le métal ne soit coulé, les impressions des modèles dans le sable doivent être réunies aux principaux conduits par lesquels le métal sera versé dans le moule, le sable étant enlevé à l'aide d'un outil spécial, nommé tiroir. Cette opération, quoique apparemment simple, demande beaucoup de jugement et d'expérience, spécialement dans les grands ouvrages, afin d'obtenir la quantité suffisante de métal pour garnir les détails du moule. Les conduits sont généralement faits sur le corps, mais quelquefois sur le corps et le chapeau. Les noyaux sont généralement laissés dans le chapeau. Pour le travail ordinaire, le métal est versé dans les moules non étuvés, ceux-ci ayant été préalablement saupoudrés avec du noir de fumée ou du charbon de bois.

§ 59. — *Travail fin.* — Pour les pièces soignées, les moules sont séchés devant le feu et saupoudrés ensuite avec du charbon de bois ; si les objets n'ont qu'une face finie, un côté seul du moule est séché. Dans les travaux très délicats, on enfume la face du moule avec une torche de résine ; on rapporte ensuite le moule sur l'empreinte, on appuie, et la suie étant dans un état très divisé, les contours du moule apparaissent clairs et nets. Le fondeur mélange une terre argileuse spéciale au sable ordinaire pour ce genre de travail, et il faut alors que les moules soient bien séchés. Par l'emploi de cette terre, les angles rentrants et sortants de la pièce se tiennent mieux ; il faut se servir de sable fin, et comme ce dernier est très poreux, il permet au gaz de s'échapper plus facilement, prévenant ainsi les soufflures.

Si l'on moule de petits enroulements, ou si le modèle a une partie mince, il ne faut pas trop tasser les moules, car, comme le métal se contracte par le refroidissement, si le

sable ne s'y prête pas, il craquera et les pièces seront dites *criquées*. Le fondeur surmonte cette difficulté en mouillant la partie mince du moule avec une bouillie de poussier de charbon de bois qui rend cette région molle et apte à suivre le refroidissement.

§ **60**. — *Noyaux*. — Si les objets à mouler sont creux, ils sont dits être *à noyaux*. Dans tous les cas, il est convenable de laisser un peu de jeu. Quelquefois le modèle est moulé comme pour une pièce pleine, et le noyau de sable fait à part est fixé sur la face du moule avec une cheville de bois ou un clou-épingle avant qu'on ne verse le métal. Pour beaucoup d'articles, les logements du noyau ou portées sont faits sur le modèle et impriment dans le moule les places où les extrémités du noyau doivent aboutir. Celles-ci doivent toujours être de même diamètre que les impressions dans le moule.

Boîtes à noyaux. — Elles sont généralement en plâtre de Paris ou en bois, et elles renferment une cavité ayant la forme du vide qu'on veut obtenir dans la pièce à couler. Les boîtes à noyau sont faites ainsi : la moitié du noyau est placée dans le sable et des pièces de métal ou de bois disposées autour pour former un cadre. Du plâtre de Paris est versé dans ce cadre au-dessus du noyau, et on le laisse prendre. Il est ensuite retiré du sable avec le noyau et ébarbé ; des canaux sont ménagés par côté ; on met sécher lorsque le noyau devient libre. Ceci forme une moitié de la boîte à noyaux. Le plâtre coulé est alors bien huilé, placé dans le sable au milieu d'un cadre analogue au précédent, dans lequel on coule du plâtre de Paris. Quant le tout est pris et sec, les deux parties sont séparées, et le noyau enlevé. Les boîtes à noyau sont alors prêtes. S'il y a quelques difficultés à effectuer la séparation des deux portions, le tout est chauffé

dans un four. Ces boîtes sont généralement employées pour couler le laiton ou le fer, et pour servir d'une façon permanente.

Dans la reproduction d'un modèle qui a un trou à une extrémité, le noyau doit être balancé, c'est-à-dire qu'il doit être plus long à une extrémité qu'à l'autre, la plus légère se projetant dans la partie creuse. Très souvent, le noyau est balancé dans le milieu, lorsqu'il est destiné à servir pour deux coulées. Ce principe est avantageux dans certains cas (fabrication des boudins de poulie). C'est le procédé des *pièces rapportées*.

§ **61**. — *Coulage des statues*, etc. — Cette partie la plus complexe de l'art du fondeur est faite par le procédé des pièces battues, les modèles étant généralement solides. La figure est placée dans le sable aussi loin qu'il sera convenable ; et lorsque le fondeur arrive à une pièce détachée du moule, il la saupoudre avec du sable sec et l'ajuste dans le sable ; s'il en atteint une autre, il emploiera plus de sable sec et la garnira également avec plus de sable. De cette manière, il place successivement toutes les pièces sur le noyau, jusqu'à ce qu'il arrive à une partie qui pourra être facilement retirée du sable. Cette partie est alors moulée, enlevée, et chaque pièce séparée du noyau est retirée avec deux épingles, afin d'enlever le noyau. Les moules et les pièces du noyau sont séchés et soigneusement replacés après avoir été réparés s'il est besoin. Tout est alors prêt à recevoir le métal, après saupoudrage, etc. Les pièces de sable sont retirées avec deux épingles piquées dans une pièce de bois. La position relative des noyaux est facilement reconnue à cause de leurs formes irrégulières.

Les oiseaux, les insectes et les plantes peuvent être moulés en fixant l'objet au centre d'une boîte au moyen de bande-

lettes de coton. Du kaolin, du plâtre de Paris ou toute autre substance non combustible est mise dans la boîte pour recouvrir l'objet. Le plâtre de Paris tombe en poudre s'il est chauffé ; on remédie à cet inconvénient en le mélangeant avec un peu de sulfate de potassium, d'alun ou de borax : le plâtre peut alors être porté au rouge. Quand l'objet est recouvert de la matière non combustible, on remplit la boîte de sable. Il est alors séché ; la boîte et son contenu sont suffisamment chauffés pour réduire l'objet en cendres qui sont soigneusement enlevées. Un endroit est réservé pour permettre de verser le métal.

Méthode du Dr Branson. — Cette méthode fut instituée pour prendre les copies des fougères, algues, etc. Une feuille de gutta-percha est ramollie dans l'eau bouillante, étendue sur une plaque métallique chaude et saupoudrée avec de la poudre de bronze, ce qui sèche la surface, la fait plus unie et empêche les spécimens d'adhérer plus tard au plâtre. Une fougère est alors placée sur le dessus de la gutta-percha, puis une feuille unie, et on exerce une pression. La feuille est enlevée lorsque le tout est refroidi, et de la belle impression ainsi préparée, on en fait un moule dans le plâtre de Paris ; et on peut alors préparer une pièce en métal-type, en laiton, etc.

Quelques articles (supports de lampe, etc.) sont faits de la manière suivante. Le modèle est moulé dans la cire ou le plâtre. On l'enlève ; on saupoudre le creux laissé et on y tasse du nouveau sable qui prend l'empreinte. L'épaisseur de la pièce est alors déterminée en plaçant une couche d'argile entre le creux et le noyau qu'on vient d'obtenir. Chaque partie de la pièce, dans ce cas, est de la même épaisseur partout.

Décapage et dérochage du laiton.

§ **62**. — La couche d'oxyde qui se trouve à la surface du laiton chauffé à l'air est enlevée en plongeant le métal dans des liquides acides et lavant à l'eau. La corrosion peut être due aussi au soufre et à d'autres corps provenant des combustibles ou des flux employés. Il arrive souvent que l'incrustation est très persistante, et si on l'enlève par un frottement énergique et l'acide nitrique chaud, il se dissout beaucoup de laiton avec production d'une surface très grossière. Il est alors préférable d'employer d'abord un liquide faible contenant des sels de cuivre et de zinc et provenant d'opérations antérieures ; la surface est attaquée lentement et le métal devient très uni. L'acide sulfurique dilué est aussi utilisé pour les lames de cuivre ; son action est d'autant plus lente et plus uniforme que l'acide est plus dilué. L'acide nitrique agit beaucoup plus énergiquement sur le zinc que sur le cuivre, de sorte que la surface du laiton a un ton plus chaud, tirant plus ou moins sur le jaune-rougeâtre. La couleur peut être variée par l'emploi d'acide nitrique à différentes concentrations ; cela est dû probablement aux métaux qui sont dissous en proportions différentes par les acides de densités différentes.

L'acide nitrique, contenant une certaine quantité d'acide nitreux, peut donner différentes nuances. On emploie alors de petites quantités de substances organiques qui engendrent des vapeurs nitreuses par l'action de l'acide nitrique concentré sur elles. Ainsi la sciure additionnée à l'acide nitrique concentré donne naissance à une couleur jaune-orange, due à une décomposition partielle de l'acide et à la formation d'acide nitreux.

On appelle décapage le procédé consistant à produire une

surface jaune mat sur un objet en laiton par immersion dans des acides convenables. L'objet est alors plongé dans l'acide dilué jusqu'à ce que l'oxyde puisse être enlevé par frottement ; il est ensuite lavé et placé dans l'acide plus fort qui agit beaucoup plus promptement, donnant lieu à un aspect mat qui disparaît par un rinçage à l'eau ; on plonge ensuite l'objet dans l'acide nitrique concentré pendant quelques secondes, on lave à l'eau pure, puis à l'eau contenant du tartre, et on sèche finalement dans la sciure chaude. La solution de tartre empêche une décoloration brunâtre ou un truitage de la surface, qui se produirait autrement. Pour cette dernière opération, il est important que chaque article soit travaillé séparément ; cela est préférable à la méthode qui consiste à suspendre plusieurs objets ensemble sur un fil.

CHAPITRE III

BRONZE.

§ **63**. — Dans cet ouvrage, le terme *bronze* s'appliquera à tous les alliages dont les constituants principaux sont le cuivre et l'étain. Ces métaux ont été connus dès les temps les plus reculés, et l'importance des alliages de cuivre et d'étain semble avoir été parmi les premières découvertes des métallurgistes. Des instruments très divers étaient faits avec ces alliages, et les armes possédaient une arête tranchante, plus dure que le fer, rivalisant presque avec l'acier. La composition des anciens bronzes était essentiellement variable ; mais dans la plupart, le cuivre et l'étain étaient seuls employés suivant les usages. Quelquefois, d'autres corps y étaient ajoutés, soit pour produire un effet donné, soit d'une façon accidentelle, ces substances étant des impuretés. Ceci résultait de l'emploi de métaux impurs, provenant des minerais de cuivre et d'étain associés à d'autres minerais, ce qui est souvent le cas.

Dans ces dernières années, on a porté beaucoup d'attention à l'étude des alliages cuivre-étain, et les proportions de ces métaux qui ont été trouvées les meilleures pour donner la plus grande résistance et l'effet tranchant maximum sont celles qui étaient employées par les Grecs et les Romains pour leurs armes de guerre et de chasse. Ce résultat était obtenu en employant soit le martelage, soit le chauffage suivi d'un refroidissement lent.

Les anciennes monnaies étaient en bronze, et contenaient dans quelques cas du plomb, du zinc ou du fer. Le tableau suivant donne la composition de quelques anciens bronzes :

COMPOSITION DES ANCIENS BRONZES.

	Autorité	Poids spécifique	Cuivre	Etain	Zinc	Plomb	Fer	Remarques
Vieille monnaie attique	Mitscherlich	»	88,46	10,04	»	1,05	»	»
Monnaie athénienne.	Id.	»	76,41	7,05	»	16,54	»	»
Id.	R. Wagener	»	83,62	10,85	»	5,53	»	»
Monnaie macédonienne	O. Monse	»	87,95	11,44	»	»	»	»
Monnaie d'Alexandre le Grand	E. Schmid	»	95,96	3,28	»	0,76	»	»
Monnaie d'Alexandre le Grand	»	»	86,72	13,14	»	»	»	335 avant J.-C.
Monnaie de Philippe V	»	»	85,15	11,10	»	»	»	200 id.
Monnaie d'Athènes .	»	»	88,41	9,95	»	»	»	»
— de Ptolémée IX	»	»	84,21	15,59	»	»	»	70 av. J.-C.
Monnaie de Pompée.	»	»	74,11	8,56	»	16,15	0,28	53 id.
— de la famille Attila	»	»	68,72	4,77	»	25,43	»	45 id.
Monnaie d'Auguste et Agrippa	»	»	78,58	12,91	»	7,66	»	30 id.
Lames d'épées romaines	»	»	91,39	8,38	»	»	»	»
Lames d'épées romaines	»	»	89,3	10,7	»	»	»	»
Aiguilles en bronze ancien	»	»	95,1	4,9	»	»	»	»
Bronze ancien mou .	»	»	90	10	»	»	»	»
— moyen	»	»	88,9	11,1	»	»	»	»
— dur. .	»	»	87,5	12,5	»	»	»	»
Bronze ancien romain	Phillips	8,59	69,69	7,16	»	21,82	0,47	500 avant J.-C.
Monnaie de Jules et Auguste	Id.	8,64	79,13	8,0	»	12,80	»	42 id.
Lame d'épée brisée .	Id.	»	85,62	10,02	»	»	0,44	»
Tête de lance brisée.	Id.	»	99,71	»	»	»	»	Soufre 0,28
Irlande	Id.	»	90,68	7,43	»	1,28	»	»
Id,	Id.	»	89,33	9,19	»	»	0,33	Soufre 0,24
Armes celtiques. . .	Fresenius	»	92	6,7	»	0,69	0,29	Nickel 0,31
Monnaie de Claudius Gothinus	»	8,81	81,6	7,41	»	8,11	»	Argent 1,86
Vases celtiques . . .	»	»	88	12	»	»	»	»
Cloche gauloise. . .	Girardin	»	85,9	14,1	»	»	»	»
Cloches du XII[e] siècle	Id.	»	76,1	20,7	1,6	»	1,6	»
Corne à boire. . . .	Donovan	»	79,34	10,87	»	9,11	»	»
Sonnette en bronze.	Salvetat	»	75,55	23,52	»	0,47	»	»

On remarquera, d'après l'examen de ce tableau, que le principal constituant du bronze est, dans tous les cas, le cuivre, les autres métaux étant ajoutés pour durcir ou modifier les propriétés de l'alliage, suivant l'usage auquel il est destiné. L'étain a la propriété de durcir le cuivre, comme il a déjà été dit ; les alliages sont susceptibles de prendre un beau poli ; ils présentent un bel éclat métallique, et comme ils ont des points de fusion relativement peu élevés et possèdent alors beaucoup de fluidité, ils sont excellents pour le coulage. Dans certaines proportions, les alliages de cuivre et d'étain émettent un très beau son quand ils sont frappés, la qualité de ce son étant modifiée par un léger changement dans la composition de l'alliage.

Certaines variétés de bronzes, contenant, outre le cuivre et l'étain, du zinc, du plomb, du manganèse, du fer, du silicium ou du phosphore, sont maintenant très employées dans les constructions mécaniques.

La caractéristique des bronzes modernes est la substitution d'alliages ternaires et quaternaires aux anciens alliages binaires. Les bronzes français contiennent presque toujours les quatre métaux (cuivre, étain, plomb et zinc) et dans quelques cas, de petites quantités de nickel, d'arsenic, d'antimoine et de soufre. Chacun de ces éléments exerce sur le bronze une influence proportionnelle à la quantité présente, et si une telle influence est préjudiciable pour certains usages, il faut apporter beaucoup de soin dans le choix des métaux ajoutés. Le cuivre impur n'est nullement une rareté dans le commerce, et il peut contenir des substances modifiant les propriétés de certaines variétés de bronzes. La difficulté de préparer des alliages de composition définie est augmentée si les résidus sont refondus avec du métal neuf, à moins qu'on ne prenne beaucoup de soin pour garder séparément les résidus d'une

qualité donnée ; du vieux métal peut aussi contenir du fer et d'autres matières étrangères, mécaniquement mélangées à lui.

Le zinc en petite quantité a souvent une influence salutaire, comme dans les coulées par exemple : le métal se coule mieux, remplit les moules et est plus exempt d'enlaçures. Le zinc agit probablement en se combinant à l'oxygène présent, donnant de l'oxyde de zinc. Si la quantité de zinc excède beaucoup ce qui est nécessaire pour obtenir ce résultat, l'alliage sera plus faible, quoique plus dur, et la couleur ressemblera plus ou moins à celle du laiton. Pour cette même raison, la teneur en zinc ne devra pas dépasser 2 pour 100, si l'on désire que l'alliage ait une grande ténacité et une grande élasticité.

Le plomb s'allie très mal avec le bronze ; il a une très grande tendance à se liquater par le refroidissement, la plus grande partie se réunissant dans la partie inférieure de la coulée. On dit qu'une petite quantité de plomb rend l'alliage plus malléable et plus dense. La patine particulière d'une couleur noire veloutée, trouvée sur les vieux bronzes chinois, est probablement due à la présence du plomb.

Le fer, en certaines proportions, modifie heureusement les propriétés du bronze. Il durcit l'alliage et augmente sa résistance à l'usure, si le bronze est destiné à subir des frottements considérables, comme dans les coussinets des machines. De tels alliages ont une couleur pâle ; ils sont plus difficilement fusibles que ceux de cuivre et d'étain. En petite quantité, le fer augmente la ténacité du bronze.

En 1858, Parker signala que l'addition de phosphore pendant la fusion du cuivre et de l'étain perfectionnait les propriétés physiques du bronze, et cette modification fut introduite éventuellement dans la fabrication avec beaucoup de succès. L'action du phosphore dans le bronze phosphoré est

d'exercer une influence sur l'affinage du métal, plutôt que de former un composé défini de cuivre, de bronze et de phosphore; beaucoup d'échantillons de bronze phosphoré d'excellente qualité ne contiennent que des traces de phosphore. Pendant la fusion du cuivre et de l'étain, il se forme une certaine quantité d'oxydes, qui, étant solubles dans les métaux fondus, affaiblissent l'alliage en empêchant cette union intime des constituants qui est nécessaire pour donner la résistance, la dureté et la durée faisant la réputation de certains bronzes.

Le phosphore a beaucoup d'affinité pour l'oxygène, et au contact des oxydes métalliques, comme ceux de cuivre et d'étain, il les réduit, donnant de l'oxyde de phosphore. Cet oxyde a un caractère acide et s'unit facilement aux oxydes métalliques, généralement basiques, pour former un laitier fusible. Ce laitier, plus léger que le métal et très fusible, flotte à la surface du bain et peut être facilement enlevé. Si l'on ajoute la quantité nécessaire de phosphore pour le but proposé, l'oxygène sera complètement absorbé; s'il y a un excès, le phosphore s'unira à l'alliage et pourra le rendre plus faible au lieu de lui donner de la résistance. Quelques métallurgistes ont pensé que l'action bienfaisante du phosphore est due à sa combinaison avec le cuivre et l'étain; mais ce n'est probablement pas le cas. S'il y a trop de phosphore, le bronze acquiert de la dureté aux dépens de la ténacité; il possède cependant encore une ténacité considérable et peut être employé à certains usages. Comme il a été mentionné plus haut, l'analyse chimique prouve que les bronzes les plus résistants ne contiennent que de très petites quantités de phosphore. Montefiori-Levi et Künzel, qui ont préconisé le bronze phosphoré en 1871, pensent qu'à cause de l'action désoxydante du phosphore, il possède une autre fonction très importante. Dans beaucoup d'alliages cuivre-étain, le cuivre

est le seul élément cristallisé, l'étain cristallisant très difficilement. L'alliage, à cause de cette condition physique différente des deux métaux, n'est pas aussi solide que si les deux constituants étaient cristallisés. Le phosphore a la propriété de donner à l'étain une nature cristalline qui le rend apte à se combiner plus intimement au cuivre, et à produire ainsi un alliage plus homogène.

Si l'on ajoute plus de phosphore qu'il n'est nécessaire pour la désoxydation des métaux, le corps résultant peut être considéré comme un alliage d'étain phosphoré cristallisé avec le cuivre. La question de produire des qualités variées de bronze phosphoré ne dépend pas tant de la quantité de phosphore que des proportions convenables des différents constituants. Les alliages sont généralement préparés en ajoutant du cuivre phosphoré ou de l'étain phosphoré préparés spécialement (les deux métaux sont quelquefois employés ensemble) à la masse du cuivre devant être traité (voir aussi p. 199).

§ **64**. — *Cuivre phosphoré.* — Il peut être préparé de différentes manières. 1° En mettant du phosphore dans du cuivre fondu dans un creuset, on obtient un alliage riche en phosphore, extrêmement dur, gris d'acier, fusible. 2° En réduisant le phosphate de cuivre par le charbon de bois, ou le charbon de bois et le carbonate de soude. 3° En chauffant un mélange de 4 parties de cendres, 1 de charbon de bois et 2 de cuivre granulé à une température modérée. Le phosphure de cuivre fondu se sépare au fond du creuset et contient 14 p. 100 de phosphore. 4° En ajoutant du phosphore à une solution de sulfate de cuivre et faisant bouillir ; le précipité est séché, fondu et coulé en lingots. De bonne qualité, il est tout à fait noir. 5° Le phosphure de cuivre est facilement obtenu en mettant dans un creuset 14 parties de sable, 18 de cendres d'os, 4 de charbon pulvérisé, 4 de carbonate de soude, 4 par-

ties de verre pulvérisé, et en mélangeant intimement le tout avec 9 parties de cuivre en grains. On ferme hermétiquement et on expose le creuset à une forte chaleur. Le sable réagit sur la cendre d'os et donne du silicate de chaux. L'acide phosphorique libre est réduit par le charbon et le phosphore s'unit au cuivre. 6° Montefiori-Lévi et Künzel préparent le cuivre phosphoré en mettant des morceaux de phosphore dans des creusets contenant du cuivre fondu. Pour éviter une trop rapide combustion, les morceaux de phosphore sont préalablement recouverts d'une couche de cuivre par immersion dans une solution de sulfate de cuivre. 7° En chauffant fortement dans un creuset un mélange intime de cendre d'os, d'oxyde de cuivre et de charbon de bois, on obtient du cuivre phosphoré.

§ **65**. — *Étain phosphoré.* — 1° Si on chauffe de l'étain finement divisé dans la vapeur de phosphore, on obtient un phosphure blanc d'argent, très cassant, contenant environ 21 p. 100 de phosphore. 2° Si l'on met du phosphore dans de l'étain fondu, il se forme un phosphure blanc, contenant environ 15 p. 100 de phosphore. 3° En plaçant une barre de zinc dans une solution aqueuse de chlorure d'étain, on a une masse spongieuse d'étain métallique. Si l'on met cet étain humide sur des morceaux de phosphore dans un creuset, si on exerce une pression et si l'on expose ensuite à une douce chaleur jusqu'à ce que le phosphore cesse de brûler, on obtient une masse cristalline de phosphure d'étain.

Dans quelques fonderies, on emploie le procédé suivant pour préparer le cuivre phosphoré et l'étain phosphoré. Dans un creuset en fonte A, on met la quantité convenable de phosphore ; un creuset B est relié au creuset A au moyen de deux serre-joints *d d*. Le métal fondu est versé en B et coule sur le phosphore à travers l'ouverture *c*. Le phosphore vaporisé

ne peut s'échapper qu'à travers le métal fondu ; il est alors complètement absorbé (fig. 10).

§ 66. — De très petites quantités de soufre, d'arsenic et d'antimoine rendent le bronze cassant, 1/10 0/0 étant suffisant pour en modifier les propriétés.

Les propriétés physiques du bronze dépendent de la composition, du mode de fabrication, du traitement mécanique et de la vitesse de refroidissement.

Riche (1) a examiné des séries d'alliages cuivre-étain au point de vue de la fusibilité, de la liquation et des variations de densité résultant de certaines opérations. Les alliages ayant la formule chimique $SnCu^3$ et $SnCu^4$ sont les seuls qui fondent et se solidifient sans décomposition ; leurs points de fusion sont compris entre 600° et 700° ; tous les autres alliages de cuivre et d'étain subissent la liquation au moment de la solidification.

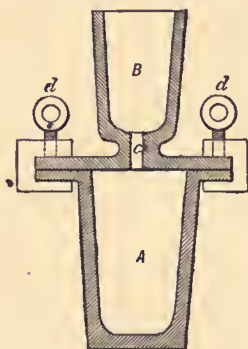


Fig. 10.

Ces alliages, en quantité de 500 à 700 grammes, étaient maintenus fondus pendant 10 heures dans des moules tubulaires, et on analysait les portions supérieures et inférieures des lin-

(1) *Ann. Chim. Phys.* (4), t. 30, p. 351.

gots. Une autre portion de chacun de ces alliages était remuée pendant la solidification, et la portion qui restait le plus longtemps fluide était séparée et analysée. Les résultats suivants ont été obtenus :

Alliages cuivre-étain ; résultats de Riche.

	Composition		Pourcentage d'étain		Pourcentage d'étain dans la portion solidifiée en dernier	Propriétés physiques
	Cu.	Sn.	haut	bas		
1. $CuSn^5$	9,73	90,27	87,87	92,9	98,50	Gris d'étain, mou comme l'étain, non cristallin.
2. $CuSn^3$	15,21	84,79	83,15	78,90	96,99	Gris d'étain, cristallisant par lent refroidissement.
3. $CuSn^2$	21,21	78,79	74,97	77,4	94,40	Gris d'étain, cristallisé, assez dur.
4. CuSn	34,99	65,01	55	80	82,83	Gris-blanc, cristallin, sec.
5. Cu^2Sn	51,84	48,16	»	»	50,42	Gris-bleu comme le zinc, cristallin, très sec.
6. Cu^3Sn	61,79	38,21	37,29	37,66	37,37	Bleu, grain fin, pulvérisable dans un mortier.
7. Cu^4Sn	68,28	31,72	30,44	30,83	30,91	Blanc, laminaire, cassant comme le verre.
8. Cu^5Sn	72,91	27,09	27,15	26,78	27,76	Blanc, avec reflet jaune ; cristallin ; très dur.
9. Cu^6Sn	76,31	23,69	23,37	23,69	25,17	Jaunâtre, très dur, grain fin ; malléable au rouge sombre.
10. Cu^7Sn	79,02	20,98	21,0	21,32	24,85	id.
11. Cu^8Sn	81,15	18,85	18,88	18,56	24,6	id.
12. $Cu^{10}Sn$	84,33	15,67	15,18	15,18	20,06 / 24,50	Jaune franc.
13. $Cu^{15}Sn$	89,00	11,00	»	»	13,1	Métal à balles.

Le poids spécifique de ces alliages est déterminé sur des échantillons obtenus en limant les extrémités supérieure et inférieure de la pièce, et prenant la moyenne des deux den-

sités. Dans les alliages riches en étain, il y a dilatation jusqu'à $CuSn^2$, c'est-à-dire que le poids spécifique est moindre que les poids spécifiques moyens des deux métaux ; dans les alliages plus riches en cuivre, il y a contraction : petite dans Sn^2Cu, elle devient rapidement très grande, atteint son maximum dans $SnCu^3$ et diminue alors graduellement ; la plus grande densité (8,91) est trouvée pour $SnCu^3$, les alliages les plus cuprifères ayant des densités plus faibles (le bronze pour canons a une densité égale à 8,84).

La dureté des alliages, comptée à partir de l'étain pur, augmente avec la proportion de cuivre jusqu'à CuSn. Cet alliage et tous ceux qui sont plus riches en cuivre jusqu'à Cu^5Sn sont extrêmement cassants, et à partir de ce dernier, la dureté diminue comme la proportion de cuivre augmente. La dureté de l'alliage contenant 66,66 de cuivre et 33,33 d'étain est la même que celle du cuivre pur.

L'alliage $SnCu^3$ se distingue des autres par quelques caractères ; il présente la même composition homogène après des fusions répétées ; sa couleur est particulière ; il a la plus grande densité, présente le plus grand degré de contraction et est si cassant qu'il peut être pulvérisé dans un mortier.

La densité des bronzes contenant de 18 à 22 p. 100 d'étain augmente par la chaleur et un refroidissement rapide dans l'eau ; mais si après les avoir de nouveau chauffés au rouge, on les refroidit lentement, la densité est abaissée ; cependant elle n'atteint pas la valeur qu'elle avait avant le refroidissement rapide. Par un traitement mécanique, comme une simple compression ou l'action d'un balancier, accompagnée d'un refroidissement rapide ou lent, la densité de ces alliages augmente, plus par la pression et le refroidissement rapide (de 8,775 à 8,952) que par la pression et le refroidissement lent (de 8,782 à 8,854). Ces bronzes se conduisent donc d'une ma-

nière opposée à l'acier, quant au refroidissement rapide et au recuit. Ils ne peuvent pas être travaillés à la température ordinaire, parce qu'ils se brisent trop facilement ; de même ils sont cassants au rouge et entre 100° et 200° C. Mais aux températures un peu inférieures au rouge sombre, ils peuvent être forgés comme le fer, facilement martelés en feuilles minces, et par le laminage, ils peuvent donner des lames de 1 1/2 à 13 mm. Cette propriété les rend avantageux pour la fabrication des gongs qui sont identiques aux fameux instruments chinois, tant au point de vue de l'aspect extérieur et des qualités sonores qu'au point de vue de la composition chimique. Par le même traitement à chaud, ces bronzes sont rendus plus denses et amenés plus facilement à avoir une densité donnée que par un traitement similaire à froid.

Les alliages contenant de 94 à 88 0/0 de cuivre et 6 à 12 0/0 d'étain peuvent être laminés et martelés aux températures ordinaires ; leur densité n'augmente pas par un refroidissement rapide ou lent. S'ils sont en même temps soumis à un traitement mécanique, leurs poids spécifiques sont légèrement augmentés. Un bronze contenant 6 0/0 d'étain a sa densité augmentée de 8,924 à 8,932 par 72 coups alternant avec 24 recuits ; par le même traitement, en substituant le refroidissement rapide au refroidissement lent, la densité était augmentée de 8,928 à 8,935.

Selon la quantité d'étain présent dans le bronze, la couleur varie du rouge au blanc ; avec un grand excès d'étain, la couleur devient gris d'acier. D'une manière générale, l'étain blanchit le cuivre plus que le zinc ; 73 parties de cuivre et 27 d'étain donnent un alliage blanc. Les alliages contenant 89 0/0 de cuivre et plus sont rouges ou jaune-rougeâtre ; celui de 88 de cuivre et 12 d'étain est jaune-orange, et

celui contenant 85 de cuivre est d'un jaune pur; de 85 à 74 0/0 de cuivre, la couleur jaune devient plus faible et disparaît avec 72 0/0 de cuivre. Les alliages avec 1 à 2 0/0 d'étain sont malléables, ductiles et tenaces, mais moins que le cuivre pur. Avec une plus grande quantité d'étain, le métal devient moins malléable ; un alliage à 5 0/0 ne peut être travaillé qu'à chaud ; il craque par le martelage à froid. Les alliages à 15 0/0 d'étain ne peuvent pas être forgés à chaud ou à froid. La plus grande résistance, comme il a déjà été remarqué, a été trouvée pour le bronze des canons contenant 90 0/0 de cuivre et 10 0/0 d'étain. Des expériences ont montré que l'on obtenait la plus grande résistance en produisant les cristaux de l'alliage aussi petits que possible ; la nature même du moule dans lequel est faite la coulée exerce une influence sur le grain, par suite sur la résistance. Dans les moules en fer, on doit couler à une température plus haute que dans les moules en sable; la température de 1600°C. est nécessaire pour les premiers, et celle de 1400°C. est suffisante pour les seconds, surtout pour les grandes pièces.

§ **67**. — Le tableau suivant des alliages cuivre-étain a été dressé par la Commission des alliages pour les États-Unis (*Report*, vol. I, 1879, p 390).

Propriétés des alliages cuivre-étain.

N°^{s}	Formule atomique.	Composition origioale. Cu.	Composition origioale. Sn.	Composition d'après analyse Cu.	Composition d'après analyse Sn.	Poids spécifique.	Couleur	Cassure.	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative (Thurston).	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de malléabilité.	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag=100	Conduct. électrique. Ag=100	Autorité	Remarques
1	»	100	0	»	»	8,791 *a* 8,874 *b*	rouge-cuivre	fibreuse	19,5	»	30,08	»	»	»	»	»	U.S.B.	*a*. Poids spécifiq. de la barre *b*. Poids spécifiq. des rognures du lingot.
2	»	100	0	»	»	8,667	rouge-brique	friable	38,7	1	»	10	2	16	»	»	Ml.	»
3	»	100	0	»	»	8,921	»	»	»	»	»	»	»	»	»	93,16	Ma.	»
4	»	100	0	»	»	»	»	»	»	»	»	301	»	»	81,1	»	C. J.	»
5	»	100	0	»	»	8,794	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr	»
6	»	100	0	»	»	8,921	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Mar.	Cuivre fondu.
7	»	100	0	»	»	8,952	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Mar.	Cuivre en feuilles.
8	»	100	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	73,6	79,3	We.	»
9	»	100	0	»	»	8,672	»	»	17,0	»	»	»	»	»	»	»	Wa.	Moyenne de neuf échantillons.
10	»	98,59	1,41	»	»	»	»	»	»	»	100,1	»	»	»	»	62,46	Ma.	»
11	$SnCu^{96}$	98,1	1,9	97,89	1,9	8,564	rouge	vésiculaire	»	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	Barre défectueuse.
12	»	98,04	1,96	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Peut être forgé comme le cuivre.
13	»	98	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	La.	Baguettes de fusils.
14	»	97,5	2,5	»	»	8,511	rouge	vésiculaire	»	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	Barre défectueuse.
15	»	96,97	3,03	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Résiste à l'action de l'acide chlorhydrique
16	$SnCu^{48}$	96,27	3,73	96,06	3,76	8,649	jaune-rouge	vésiculaire	22,5	»	70,3	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
17	»	96	4	»	»	3,947	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Recuit et comprimé.
18	»	95	5	»	»	»	jaune-d'or	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Dur, malléabl.
19	»	94,1	5,9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Pièces de

													»	»	»	»	Bo.	Bronze pour médailles.
26	»	91,75	8,25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Montre une séparation si on examine avec une loupe
27	»	91,74	8,26	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Artille^rie angl.
28	»	91,7	8,3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal pour artillerie.
29	»	91,66	8,33	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Canons de huit
30	$SnCu^{20}$	91,9	8,51	»	»	8,793	»	»	»	»	»	639,58	»	»	»	»	C. J.	»
31	»	91,3	8,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Roues dentées
32	»	90,91	9,09	»	»	»	»	»	22,6	»	»	»	»	»	»	»	Mus.	Artillerie prussienne.
33	»	90,9	9,1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal d'artil^ie
34	»	90,73	9,27	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Artillerie française.
35	»	90,1	9,9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	»
36	»	90	10	90,27	9,58	8,669	jaune-gris	friable	18,9	»	18	»	»	»	»	»	U.S.B.	Bronze d'artil. comprimé.
37	»	90	10	»	»	8,875	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	De.	Apr. compressions répétées.
38	»	90	10	»	»	8,935	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Coussinets de voitures de chem^ins de fer.
39	»	90	10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal pour artillerie.
40	»	89,3	10,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Petite barre coulée dans un moule de fer.
41	»	89,29	10,71	»	»	8,953	»	»	26,5	»	»	»	»	»	»	»	Wa.	Petite barre coulée dans un moule d'argile
42	»	89,29	10,71	»	»	8,313	»	»	18,1	»	»	»	»	»	»	»	Wa.	Moyenne de 12 échantillons (métal à canons).
43	»	89,29	10,71	»	»	8,353	»	»	18,3	»	»	»	»	»	»	»	Wa.	Métal pour artillerie.
44	»	89,23	10,77	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	»
45	$SnCu^{15}$	89	11	»	»	8,84	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
46	$SnCu^{15}$	88,97	11,03	»	»	8,825	»	»	»	»	»	772,92	»	»	»	»	C. J.	Moyenne de 83 échantillons (métal à canons).
47	»	88,89	11,11	»	»	8,523	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Wa.	»

Propriétés des alliages cuivre-étain *(suite)*

Nos	Formule atomique.	Composition originale.		Composition d'après analyse		Poids spécifique.	Couleur	Cassure	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative. (Thurston).	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de malléabilité. (Mallet).	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag=100	Conduct. électrique. Ag=100	Autorité	Remarques
		Cu.	Sn.	Cu.	Sn.													
48	»	88,39	11,61	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,1	Ma.	Métal à canons
49	»	88	12	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	La.	»
50	»	87,65	12,35	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10,15	Ma.	»
51	»	87,5	12,5	»	»	8,648	jaune-grisâtre	friable	21,9	»	7,3	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
52	»	86,8	13,2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	»
53	SnCu¹²	86,57	13,43	87,15	12,73	8,681*a* 8,943*b*	truité blanc et jaune	finement vésiculaire	20,7	»	13,09	»	»	»	»	»	U.S.B.	*a*. Poids spécifiq. de la barre *b* Poids spécifique de fines rognures.
54	»	86,21	13,79	»	»	8,87	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Le plus dense de tous les alliages ? (Riche)
55	»	86	14	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Corps d'essieu Locomotive Seraing.
56	»	85,71	14,29	»	»	»	»	»	31,0	»	»	»	»	»	»	»	Mus.	»
57	»	85,09	14,91	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8,82	Ma.	»
58	SnCu¹⁰	84,33	15,67	»	»	8,87	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
59	»	84,3	15,68	»	»	8,832	»	»	»	»	»	»	916,66	»	»	»	C. J.	»
60	»	84,29	15,71	»	»	8,561	jaune-rougeât.	finement cristalline	25,3	2	»	8	6	15	»	»	Ml.	»
61	»	84	16	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo	Boîtes de roues de voitures.
62	»	83,3	16,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Poinçons des joailliers.
63	SnCu⁹	82,81	17,19	»	»	8,462	jaune-rougeât.	finement cristalline	23,9	3	»	5	7	14	»	»	Ml.	»
64	»	82,5	17,5	»	»	8,792	gris-rougeât.	finement cristalline	25,4	»	0,32	»	»	»	»	»	U.S.B.	Le plus fort de la série.
65	»	82	18	»	»	8,927	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	R.	Recuit et trempé.
66	SnCu⁸	81,15	18,85	»	»	8,86	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
67	SnCu⁸	81,1	18,9	»	»	8,459	rouge-jaunâtre	finement cristalline	27,9	4	»	4	10	13	»	»	Ml.	»
68	»	»	»	80,43	19,57	8,953	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Th.	Gong chinois.
69	»	80	20	»	»	8,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Cloches de

	»		20	80,95	18,84	8,74	gris-rougeât.	finement granulée	23,2	»	0,4	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
74	»	79,2	20,8	»	»	8,927	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	Recuit et trempé.
75	$SnCu^7$	79,02	20,98	»	»	8,90	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
76	$SnCu^7$	78,97	21,03	»	»	8,728	rouge-jaunâtre	vitreuse conchoïdale	21,4	5	»	3	11	12	»	»	Ml.	»
77	»	78	22	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	»
78	»	77,5	22,5	»	»	8,917	gris rose	finement granulée	17,4	»	0,02	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
79	$SnCu^6$	76,32	23,68	76,64	23,24	8,565	»	douce	15,5	»	»	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
80	$SnCu^6$	76,31	23,69	»	»	8,91	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
81	$SnCu^6$	76,29	23,71	»	»	8,75	rouge-bleuâtre	vitreuse	15,0	0	»	2	12	11	»	»	Ml.	»
82	»	76,2	23,8	»	»	9,1 ?	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Cloche d'égl. de Reichenhall (vieille de 600 ans).
83	»	75,2	24,8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Cloches suisses ; sec.
84	»	75	25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	»
85	$SnCu^5$	72,91	27,09	»	»	8,87	blanc-rougeât.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
86	$SnCu^5$	72,9	27,1	»	»	8,965	»	»	»	»	»	rompu	»	»	»	»	C. J.	»
87	$SnCu^5$	72,8	27,2	»	»	8,575	rouge-bleuâtre	conchoïdale	7,7	0	»	1	13	10	20,7	»	Ml.	»
88	»	72,5	27,5	»	»	8,925	blanc-rougeât.	conchoïdale	4,6	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
89	»	70	30	69,84	29,89	8,932	blanc	conchoïdale	3,9	»	0,008	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
90	»	68,82	31,18	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Miroirs de télescope.
91	$SnCu^4$	68,28	31,72	»	»	8,80	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
92	$SnCu^4$	68,27	31,73	»	»	8,948	»	»	»	»	»	rompu	»	»	»	»	C. J.	»
93	$SnCu^4$	68,25	31,75	68,58	31,28	8,938	blanc	conchoïdale	1,1	»	»	»	»	»	15,5	»	U.S.B.	»
94	$SnCu^4$	68,21	31,79	»	»	8,40	gris-cendre	conchoïdale	1,1	0	»	6	14	9	»	»	Ml.	»
95	»	68,21	31,79	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal à miroirs.
96	»	67,5	32,5	»	»	8,907	blanc	conchoïdale	1,8	»	0,009	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
97	»	66,67	33,33	»	»	»	gris-d'acier	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Dur, uniforme
98	»	66,67	33,33	»	»	»	»	»	0,7	»	»	»	»	»	»	»	Mus.	»
99	»	65	35	65,34	34,47	8,947	gris-bleu	»	1,6	»	0,002	»	»	»	»	»	U.S.B.	»

Propriété des alliages cuivre-étain (*suite*).

N°s	Formule atomique.	Composition originale.		Composition d'après analyse		Poids spécifique.	Couleur	Cassure	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative (Thurston).	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de malléabilité (Mallet).	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag=100	Conduct. électrique Ag=100	Autorité	Remarques
		Cu.	Sn.	Cu.	Sn.													
100	»	62,5	37,5	»	»	8,956	gris-sombre	radiée cristalline	1,1	»	0,001	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
101	$SnCu^3$	61,79	38,21	»	»	8,954	»	»	»	»	»	rompu	»	»	49,4	»	C. J.	»
102	$SnCu^3$	61,79	38,21	»	»	8,96	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
103	$SnCu^3$	61,71	38,29	»	»	8,97	gris-sombre	raboteuse pierreuse	0,5	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	Densité max.: le plus faible.
104	$SnCu^3$	61,69	38,31	»	»	8,539	id.	tabulaire cristalline	0,8	0	»	7	16	8	»	»	Ml.	»
105	»	60	40	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Bo.	Métal blanc pour cloches.
106	»	57,5	42,5	»	»	8,781	gris-clair	pierreuse	1,0	»	0,001	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
107	Sn^5Cu^{12}	56,32	43,68	56,7	43,17	8,682	id.	id.	1,0	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
108	»	52,5	47,5	»	»	8,643	id.	id.	»	»	0,001	»	»	»	»	»	U.S.B.	Le plus faible sous un effort transversal.
109	$SnCu^2$	51,84	48,16	»	»	8,57	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
110	$SnCu^2$	»	»	»	»	8,512	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr.	»
111	$SnCu^2$	51,83	48,17	»	»	8,533	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	C. J.	»
112	$SnCu^2$	51,8	48,2	51,62	48,09	8,56	gris-clair	»	1,8	»	0,003	rompu	»	»	42,8	»	U.S.B.	Remarquable pour sa liquation.
113	$SnCu^2$	51,75	48,25	»	»	8,416	blanc-gris	vitreuse conchoïdale	2,7	0	»	»	»	»	»	»	Ml.	»
114	»	50	50	»	»	»	»	»	0,5	»	»	9	15	7	»	»	Mus.	»
115	»	50	50	»	»	8,79	blanc-bleuâtre	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Très légèrem. malléable.
116	Sn^7Cu^2	47,95	52,05	47,61	52,14	8,442	blanc-grisâtre	grain fin	1,1	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
117	»	47,5	52,5	»	»	8,446	id.	cristalline	1,7	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
118	Sn^2Cu^3	44,67	55,33	»	»	8,3	blanc-grisâtre	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
119	Sn^2Cu^3	44,63	55,37	44,52	55,28	8,312	blanc-grisâtre	cristalline	2,1	»	0,003	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
120	»	42,5	57,5	»	»	8,437	blanc-grisâtre	id.	1,5	»	0,006	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
121	Sn^3Cu^4	41,74	58,26	42,38	57,30	8,302	blanc-	id.	2,8	»	0,007	»	»	»	»	»	U.S.B.	»

							grisâtre					»	»	»	»	»	Ri.	»
126	SnCu	34,98	65,02	»	»	7,992	»	»	»	»	»	rompu	»	»	41,5	»	C. J.	»
127	SnCu	»	»	»	»	8,072	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr.	»
128	SnCu	34,95	65,05	34,22	65,8	8,013	blanc-grisâtre	cristalline	2,4	»	0,005	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
129	SnCu	34,92	65,08	»	»	8,056	blanc-grisâtre	tabulaire cristalline	2,2	0	»	11	9	6	»	»	T.	»
130	»	33,33	66,67	»	»	»	blanc	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Sec, uniforme.
131	»	32,5	67,5	»	»	7,931	blanc-grisâtre	cristalline	1,6	»	0,014	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
132	Sn^4Cu^3	23,72	71,28	25,85	73,8	7,918	blanc-grisâtre	id.	1,2	»	0,011	»	»	»	»	»	T.	»
133	»	27,5	72,5	»	»	7,915	blanc-grisâtre	id.	3,1	»	0,018	»	»	»	»	»	T.	»
134	»	25	75	»	»	7,813	blanc-bleuâtre	id.	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	»
135	Sn^5Cu^3	24,38	75,62	23,35	76,29	7,835	blanc-grisâtre	finement cristalline	4,8	»	0,03	»	»	»	»	»	T.	»
136	»	22,5	77,5	»	»	7,774	blanc-grisâtre	finement cristalline	3,5	»	0,12	»	»	»	»	»	T.	»
137	»	21,74	78,26	21,38	77,63	7,53	blanchâtre	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Jaune, blanc verdâtre.
138	Sn^2Cu	21,21	78,79	»	»	7.738	»	»	»	»	»	135,42	»	»	43,1	»	C. J.	»
139	Sn^2Cu	21,21	78,79	»	»	7,74	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
140	Sn^2Cu	21,18	78,82	20,25	79,63	7,77	blanc-grisâtre	cristalline	3,0	»	0,06	»	»	»	»	»	T.	»
141	Sn^2Cu	21,15	78,85	»	»	7,387	blanc-grisâtre	»	6,1	0	»	12	8	5	»	»	Ml.	»
142	Sn^5Cu^2	17,68	82,32	»	»	7,652	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr.	»
143	»	17,5	82,5	»	»	7,69	blanc-grisâtre	cristalline	2,0	»	0.2	»	»	»	»	»	T.	»
144	»	16,4	83,6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,76	Ma.	»
145	Sn^3Cu	15,21	84,79	»	»	7,53	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
146	Sn^3Cu	15,21	84,79	»	»	7.606	»	»	»	»	»	104,17	»	»	42,3	»	C. J.	»
147	Sn^3Cu	15,19	84,81	15,06	84,62	7,657	blanc-grisâtre	cristalline	4,6	»	0,92	»	»	»	»	»	T.	»
148	Su³Cu	15,17	84,83	»	»	7,447	blanc-grisâtre	grossière-ment cris-talline	4,9	0	»	13	15	4	»	»	Ml.	»
149	»	12,5	87,5	»	»	7,543	blanc-grisâtre	cristalline	2,7	»	4,71	»	»	»	»	»	T.	»
150	Sn^4Cu	11,86	88.14	»	»	7,558	»	»	»	»	»	95,81	»	»	40,6	»	C. J.	»
151	Sn^4Cu	11,84	88;16	11,49	88,17	7,552	blanc-grisâtre	cristalline	4,5	»	7,08	»	»	»	»	»	T.	»
152	Sn^4Cu	11,84	88,16	»	»	7,5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
153	Sn^4Cu	11,82	88,18	»	»	7,472	blanc-grisâtre	grossière-ment cris-talline	4,9	8	»	14	4	3	»	»	Ml.	»

Propriétés des alliages cuivre-étain (*suite*).

N°ˢ	Formule atomique.	Composition originale		Composition d'après analyse		Poids spécifique.	Couleur	Cassure	Ténacité en kg. par mm²	Ordre de ductilité (Mallet).	Ductilité relative. (Thurston).	Dureté (Mallet Calvert et Johnson)	Ordre de malléabilité (Mallet).	Ordre de fusibilité (Mallet).	Conduct. calorifique. Ag=100	Conduct. électrique. Ag=100	Autorité	Remarques
		Cu.	Sn.	Cu.	Sn.													
154	Sn^5Cu	9,73	90,27	»	»	7,517	»	»	»	»	»	83,33	»	»	39,6	»	C. J.	»
155	Sn^5Cu	9,73	90,27	»	»	7,52	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Ri.	»
156	Sn^5Cu	9,7	90,3	8,57	91,39	7,49	blanc grisâtre	granulée	4,5	»	23,47	»	»	»	»	»	T.	»
157	Sn^5Cu	9,68	90,32	»	»	7,412	blanc-grisâtre	friable	2,1	6	»	15	3	2	»	»	Ml.	»
158	»	9,09	90,91	»	»	7,172	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	W.	Légèrement malléable.
159	»	7,5	92,5	»	»	7,417	blanc-grisâtre	granulée	4,3	»	40,06	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
160	»	6,43	93,57	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,03	Ma.	»
161	$Sn^{12}Cu$	4,29	95,71	3,72	96,31	7,36	blanc-grisâtre	granulée	2,4	»	56,77	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
162	»	2,5	97,5	»	»	7,342	blanc-grisâtre	fibreuse	3,9	»	121,9	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
163	$Sn^{48}Cu$	1,11	98,89	0,74	99,02	7,305	blanc-grisâtre	id.	2,6	»	133,9	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
164	$Sn^{96}Cu$	0,56	99,44	0.32	99,46	7,299	blanc-grisâtre	id.	3,2	»	208,8	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
165	Sn	0	100	»	»	7,293	id.	id.	2,5	»	219,8	»	»	»	»	»	U.S.B.	»
166	»	0	100	»	»	7,291	blanc	fibreuse	4,3	7	»	16	1	1	»	»	Ml.	»
167	»	0	100	»	»	7,297	»	»	1,5	»	»	»	»	»	»	»	Wa.	»
168	»	0	100	»	»	7,294	»	»	»	»	»	»	»	»	»	11,45	Ma.	»
169	»	0	100	»	»	7,305	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Cr.	»
170	»	0	100	»	»	»	»	»	»	»	»	27	»	»	42,2	»	C. J.	»
171	»	0	100	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	15,2	17	We.	»

LISTE DES AUTEURS CITÉS DANS LE TABLEAU PRÉCÉDENT.

Bo. — *Bolley.* — Essais et recherches chimiques, Paris, 1869, p. 345, 348.

Cr. — *Croockewit.* — Erdmann's Journal, 1848, vol. XIV, p. 87, 93.

C.-J. — *Calvert et Johnson.* — « Poids spécifiques », Phil. Mag., 1859, vol. XVII, p. 114, 121 ; « Conductibilité de la chaleur », Phil. Trans., 1858, p. 349, 368.

De. — *S.B. Deam.* — « Notes d'artillerie », n° XL, Washington, 1875.

La. — *Lafond.* — Dingler's Journal, 1855, vol. CXXXV, p. 269.

Ml. — *Mallet.* — Phil. Mag., 1842, vol. XXI, p. 66, 68.

Ma. — *Matthiessen.* — Phil. Trans., 1860, p. 161 ; 1864, p. 167, 200.

Mar. — *Marchand et Scheerer.* — Journal für praktische Chemie, vol. XXVII, p. 193 (Clark, Constantes de la nature).

Mus. — *Musschenbrock.* — Ure's Dictionary, article « Alloy ».

Ri. — *Riche.* — Annales de chimie et de physique, 1873, vol. XX, p. 351, 419.

U. S. B.— « Rapport de la Commission des alliages métalliques, nommé par le bureau des États-Unis, pour les essais de fer, d'acier, etc. »

T. — *Thomas Tomson.* — Annales de chimie, 1814, p. 46, 58.

W. — *Watt.* — Dictionnaire de chimie.

Wa. — *Major Wade*, de l'armée des États-Unis. — « Rapport sur les expériences sur les métaux pour canons », 1856.

We. —*Wiedmann.*— Phil. Mag., 1860, vol. XIX, p. 243, 244.

Notes sur le tableau. — Les nombres relatifs à la ductilité, à la dureté et à la fusibilité sont donnés d'après les expériences de Mallet et sur une série de 16 alliages, le nombre 1 représentant le maximum et 16 le minimum de la propriété. La ductilité des métaux cassés est représentée par le nombre 0.

La ductilité relative donnée par la Commission des États-Unis est l'extension proportionnelle des fibres extérieures des pièces soumises à la torsion, déterminée par une méthode d'enregistrement. L'ordre de ductilité ainsi obtenu diffère beaucoup de celui de Mallet.

Les nombres se rapportant à la dureté relative, d'après Calvert et Johnson, ont été obtenus par l'emploi d'un instrument contondant ; l'échelle est telle que la fonte a la valeur 1000. Le mot rompu, dans cette colonne, indique que l'alliage s'est rompu, montrant que la dureté relative ne pouvait pas être mesurée, mais qu'elle était considérablement plus grande que celle de la fonte.

Pour les poids spécifiques, il y a accord entre les différents auteurs pour les alliages contenant moins de 35 0/0 d'étain ; les nombres de Mallet sont cependant généralement beaucoup plus bas que ceux des autres. Dans les alliages contenant moins de 35 0/0 d'étain, il y a une grande variation parmi les nombres donnés par les différents auteurs, ceux de Mallet étant généralement inférieurs. Quelques résultats, donnés par M. Riche, qui a étudié l'influence du recuit, de la trempe et de la compression, montrent que la compression tend spécialement à augmenter le poids spécifique des alliages contenant moins de 20 0/0 de zinc jusqu'à 8,9 ; ceci tient simplement à la disparition des soufflures, par suite à la diminution de la porosité. Le poids spécifique 8,953 était obtenu par le major Wade en coulant dans un

moule en fer une petite barre d'un métal qui, s'il était coulé dans un moule d'argile, avait un poids spécifique de 8,313. Le premier résultat est exceptionnellement haut, et il indique probablement que les circonstances de la fusion, de la coulée, du refroidissement, étaient favorables à l'exclusion des gaz donnant les soufflures et à la formation d'un métal parfaitement compact.

Les nombres relatifs à la ténacité, donnés par Mallet, Musschenbrock et Wade, s'accordent avec ceux trouvés dans les expériences autant qu'on peut l'espérer, étant données les résistances très variables d'alliages de même composition indiquées par tous les auteurs.

Le nombre de Mallet pour le cuivre, 38,7 kg. par mm.², est certainement beaucoup trop haut pour le cuivre fondu ; la pièce qu'il a essayée était certainement laminée ou peut-être étirée en fils. Haswell, dans son dictionnaire, donne les nombres suivants pour la résistance du cuivre à la tension ; il n'indique pas les auteurs :

Cuivre forgé	23,9	kg. par mm.²
— laminé	25,3	—
— fondu (Amérique). .	17.0	—
— en fils.	43,0	—
— en chevilles	25,9	—

La résistance du bronze des canons n'est pas donnée dans le tableau, dans lequel on ne compare que les chiffres relatifs à la ténacité d'alliages fondus dans les conditions ordinaires, et non d'alliages comprimés, laminés ou coulés sous pression.

Variétés commerciales de bronzes.

§ 68. — *Métal pour canons.* — Quoique le bronze ait été complètement remplacé par le fer et l'acier pour la fabrication

des canons, il n'est pas moins intéressant à étudier à ce point de vue. Pour les constructions de l'artillerie, on doit employer un métal capable de résister à des pressions très grandes et très subites, car on a calculé qu'en faisant partir un coup de canon dans une arme ordinaire, il se développe une pression de 2000 atmosphères : il faudra donc un métal possédant une résistance particulière pour un tel emploi. Beaucoup d'expériences ont été faites pour déterminer les meilleures proportions de cuivre et d'étain susceptibles de donner un alliage pour canons ; mais il n'a été adopté aucun type uniforme par les différentes nations, chacune préférant un alliage spécial. Deux alliages ayant exactement la même composition chimique possèdent des propriétés très différentes d'après le traitement mécanique qu'ils ont subi ; et à moins que nous ne connaissions les conditions dans lesquelles un canon est finalement terminé, il est impossible d'établir un tableau de comparaison en se basant simplement sur l'analyse chimique. C'est probablement la raison pour laquelle, dans les canons de pays différents et à diverses époques de l'histoire, un type uniforme n'a pas été adopté. Le tableau suivant éclaircira ce point :

	Cuivre.	Etain.	Fer.	Zinc.	Plomb.
Artillerie anglaise.	91,74	8,26	»	»	»
id.	91,8	8,20	»	»	»
Canons de 8	91,66	8,33	»	»	»
Artillerie prussienne	90,91	9,09	»	»	»
— française	90,73	9,27	»	»	»
— —	90,09	9,9	»	»	»
— américaine	90,0	10,0	»	»	»
— —	90,27	9,73	»	»	»
— russe (1819). . . .	88,61	10,7	0,69	»	»
— suisse	88,93	10,38	0,11	0,42	0,06
— chinoise	77,18	3,42	1,16	5,02	13,22
— —	93,19	5,43	1,38	»	»

Les proportions les plus convenables pour l'alliage des

canons varient de 8 à 11 parties de cuivre pour 1 d'étain ; d'après Harsten, on doit préférer 9 parties de cuivre pour 1 d'étain. L'alliage de 11 parties de cuivre pour 1 d'étain semble uniforme après un refroidissement rapide, s'il est examiné simplement à l'œil ; mais si on le regarde avec une lentille, il apparaît composé de facettes striées d'un alliage rouge mélangé à un blanc. Si la solidification est encore plus rapide, par exemple en employant un moule en fer épais, on obtient un alliage parfaitement uniforme, même examiné avec une loupe. Refroidi dans l'eau après avoir été de nouveau chauffé fortement, il reste homogène ; mais il suffit de le refroidir lentement après avoir continué à le chauffer pour qu'il devienne variable en composition, semblable à celui qu'on avait obtenu tout d'abord par refroidissement lent après l'avoir fondu. De là, l'alliage qui est uniforme à son point de fusion, même s'il est fortement chauffé, se sépare en deux alliages différents, s'il est refroidi lentement. La grosse masse d'un canon ne peut pas être refroidie suffisamment vite, même à l'aide de moules conduisant bien la chaleur ; on ne peut donc pas éviter la séparation de deux alliages distincts : l'un plus riche en cuivre se solidifie d'abord ; l'autre plus riche en étain (82,3 0/0 de cuivre et 17,7 d'étain) monte en partie à la surface, l'autre partie allant au fond du moule.

Le métal pour canons doit posséder un degré considérable de dureté et d'élasticité, car, en faisant partir un coup de canon, la cartouche agit quelque temps sur les côtés, et si le métal cède d'une façon permanente à la pression exercée, l'âme de l'arme perd graduellement sa forme cylindrique, et alors il devient de plus en plus difficile de viser sur un but donné. De plus, en tirant un coup de canon, il se dégage une grande quantité de gaz qui ont une action plus ou moins corrosive sur le métal, de sorte qu'il est préférable d'employer

l'alliage qui est le moins attaqué par ces gaz, pourvu qu'il ait une résistance suffisante. Bref, un bon métal pour canons doit réunir les qualités suivantes : être très tenace, suffisamment dur et élastique pour ne pas se déjeter, indifférent aux actions chimiques ordinaires, légèrement liquide à l'état fondu et capable de se solidifier facilement dans le moule lorsqu'il est coulé.

Dans les temps modernes, on a exclusivement employé le cuivre et l'étain, car ils offrent au plus haut degré tous les avantages précités, et quoique l'addition d'un troisième métal puisse être avantageuse pour augmenter une propriété particulière, elle nuit cependant à l'ensemble des qualités requises pour le métal à canons. L'addition d'un peu de phosphore est utile dans certains cas, mais cette substance ne doit être ajoutée qu'en très petite quantité. En fait, le phosphore est mis comme moyen de purification ; la quantité restante dans le bronze est infiniment petite et ne peut pas être considérée comme facteur dans l'alliage final. Dans les vieux canons, on a trouvé beaucoup de substances étrangères, telles que le nickel, le cobalt, le plomb, le fer, le bismuth, l'arsenic, etc. ; mais dans beaucoup de cas, les quantités sont si petites qu'elles peuvent être regardées comme des impuretés accidentelles, et non pas comme ayant été introduites dans l'alliage. Le plomb, le zinc et le fer ont été sans doute ajoutés dans certains cas pour obtenir un effet donné. Les autres métaux signalés sont des impuretés provenant du cuivre commercial, qui était autrefois beaucoup plus impur que maintenant.

Le terme *métal pour canons* (*gun metal*) n'est pas exclusivement réservé aux alliages de cuivre et d'étain, car souvent on y ajoute du zinc et d'autres métaux ; en fait, cette expression semble s'appliquer à tout alliage dans lequel le cuivre

prédomine largement, et qui possède une résistance et une dureté considérables. Quelques alliages triples de cuivre, étain et zinc possèdent beaucoup d'excellentes propriétés qui les font apprécier pour certaines parties des machines et pour les métaux antifriction ; ils sont compris sous le nom général de *alliages pour machines*. Voici la composition de quelques-uns de ces alliages :

Nos	Cu.	Sn.	Zn.	Couleur.
I	92	2	6	Rouge pâle.
II	90	8	2	Jaune-rougeâtre.
III	84	5	11	Jaune.
IV	83	5	12	id.
V	80	15	5	Rose-jaunâtre pâle.
VI	80	5	15	Jaune.
VII	75	5	20	Jaune-verdâtre.

Le n° I est dur, malléable et tenace. Le n° II est dur, excessivement peu flexible, et se brise facilement. Les n°s III et IV se travaillent bien à la lime et au ciseau. Le n° V est dur, quoique un peu malléable. Le n° VI est dur et résistant, tenace ; il se travaille très bien à la lime et au ciseau. Le n° VII est dur ; il se brise facilement, mais peut être limé.

Les alliages contenant moins de 66 0/0 de cuivre sont durs et cassants ; si la proportion tombe à 50 0/0, ils deviennent extrêmement durs et cassants. L'addition d'un peu de plomb rend les alliages ci-dessous plus faciles à tourner et à limer. Un échantillon de l'alliage *métal pour canons*, donné comme étant très résistant et de longue durée, employé pour les échappements des roues à couronne, a donné à l'analyse :

Cuivre.	87,85
Zinc.	5,07
Etain	4,96
Plomb.	1,84
Fer.	0,28

Un alliage préparé par M. Stirling, et essayé à l'arsenal de Woolwich, a une résistance à la flexion beaucoup plus grande que le bronze ordinaire ; il contient :

Cuivre	87,0
Etain	8,7
Zinc	4,3

Cet alliage est difficile à obtenir à l'état sain et homogène.

Métal à cloches.

§ **69.** — Les différents alliages employés pour la fabrication des cloches consistent essentiellement en cuivre et étain, mais dans quelques cas on ajoute d'autres métaux en petite quantité, soit pour en diminuer le prix, soit pour obtenir un son déterminé. Les métaux généralement employés sont : le zinc, le plomb, le fer, quelquefois le bismuth, l'argent, l'antimoine et le manganèse. Le tableau suivant donnera la composition de quelques alliages.

	Cuivre.	Etain.	Zinc.	Plomb.	Fer.	Argent.	Bismuth.	Antimoine.
Cloches musicales.	84,0	16,0	»	»	»	»	»	»
Cloches fines	84,5	15,4	»	»	»	»	»	1,0
Gongs	82,0	18,0	»	»	»	»	»	»
Cloches de maisons.	80,0	20,0	»	»	»	»	»	»
Id.	78,0	22,0	»	»	»	»	»	»
Grandes cloches.	76,0	24,0	»	»	»	»	»	»
Cloches d'horloges suisses. . . .	74,5	25,0	»	0,5	»	»	»	»
Vieille cloche de Rouen	71,0	26,0	1,8	1,2	»	»	»	»
Sonneries de pendules.	72,0	26,56	»	»	»	1,44	»	»
Cloche d'alarme de Rouen.	75,1	22,3	1,0	»	»	1,6	»	»
Tam-tam	79,0	20,3	»	0,52	»	0,18	»	»
Karakane japonais	64,0	24,0	9,0	»	3,0	»	»	»
Id.	70,0	19,0	3,0	8,0	»	»	»	»
Id.	61,0	18,0	6,0	12,0	3,0	»	»	»
Sonnettes de table blanches	17,0	80,0	»	»	»	»	3,0	»
Id.	»	87,5	»	»	»	»	»	12,5
Petites sonnettes	40,0	60,0	»	»	»	»	»	»

De petites sonnettes sont faites aussi avec du laiton laminé, ce qui a surtout lieu, si, par suite de l'ornementation extérieure, on doit obtenir une pièce à parties repoussées ou estampées ; mais le son de telles cloches est de qualité inférieure. M. P. M. Parsons dit que le bronze de manganèse est particulièrement usité pour les grandes cloches.

Les avantages que cet alliage présente sont que les cloches ont une sonorité identique, quelquefois plus grande, avec un ton plus doux, et qu'elles sont en même temps si dures qu'elles ne peuvent pas être craquelées comme les cloches faites avec du métal ordinaire, qui est cassant à cause de la sonorité requise. Un bon métal pour cloches doit avoir un son tout à fait pur, dont la qualité varie suivant l'emploi. Le son peut être modifié par la composition chimique, mais il dépend aussi du mode de fabrication de l'alliage. Le métal doit être dur, homogène, résistant et d'un grain fin. La couleur d'un bronze de composition normale, contenant de 76 à 80 0/0 de cuivre et de 20 à 24 0/0 d'étain, est gris-bleuâtre ; très lentement refroidi après avoir été chauffé au rouge, le métal est très dur, difficile à limer, sonore, cassant; sa cassure présente un grain fin. Chauffé au rouge et rapidement refroidi par immersion dans l'eau froide, il devient modérément doux, peut être limé, tourné, et est susceptible d'être travaillé autrement. Il peut être durci en le chauffant au rouge et refroidissant lentement. Un peu au-dessous du rouge, il est malléable. Un alliage de 80 0/0 de cuivre et 20 0/0 d'étain, refroidi lentement après fusion, a une apparence striée gris-brunâtre et est très cassant. S'il est subitement refroidi dans l'eau après avoir été chauffé au-dessous du rouge, il devient gris-jaunâtre et malléable. Pendant la chauffe, si la température monte trop haut, des globules blancs d'un alliage riche en étain se séparent, de sorte que le

métal à cloches semble se résoudre en deux alliages à une température inférieure à son point de fusion ; ces deux alliages, par un refroidissement lent, donnent un alliage cassant, mais ils restent séparés si le refroidissement est rapide (1).

Le ton d'une cloche est matériellement influencé par ses dimensions et sa forme, par l'épaisseur du métal et le rapport de la hauteur au diamètre. L'habileté du fondeur de cloches n'est pas seulement exercée en déterminant la meilleure composition de l'alliage, mais aussi en cherchant la forme exacte et la dimension pour une note et un son donnés, ce qui est important pour les carillons. Quelques sonnettes de table sont faites de deux parties, ayant un marteau de chaque côté, les deux sons différant d'une tierce mineure ou majeure : on a ainsi une combinaison agréable des sons lorsque l'instrument est frappé.

On préfère quelquefois que les sonnettes de table soient blanches, ce que l'on obtient en coulant le métal blanc indiqué dans le tableau précédent ; ou bien les alliages ordinaires sont blanchis par addition d'étain ou de nickel. Les sonnettes sont d'abord très bien polies, puis placées dans de l'eau chaude additionnée de crême de tartre ; une couche d'étain en grenailles est placée entre chaque rangée de sonnettes dans le bain, qui est porté à la température de 100° C. pendant deux ou trois heures. Les objets sont ensuite retirés, lavés à l'eau et finalement polis avec de la peau de chamois. Beaucoup de sonnettes sont maintenant nickelées.

La fusion et le coulage du métal pour cloches sont semblables à ceux du bronze. En général le cuivre est d'abord fondu, puis l'étain est ajouté, et le tout est vigoureusement remué. Si l'on emploie des débris avec du métal neuf, on les fond

(1) Watt, *Dictionnaire*, vol. II, p. 44.

avec le cuivre, puis on ajoute de l'étain neuf. Dans la coulée des petites cloches, il n'est pas besoin de chape comme pour le laiton ordinaire. Les modèles, la face convexe en dessus, sont placés sur une planche, et un châssis de coulée est placé par dessus ; on saupoudre du sable sec, plus généralement de la brique pilée, pour empêcher l'adhérence des modèles. Une couche de sable cru, finement pulvérisé dans un mortier, est alors placée sur les modèles, et le bâti est rempli avec du sable ordinaire. Le sable est bien tassé, d'abord avec les mains, puis avec un maillet, quelquefois avec les pieds. Une planche est placée dessus, et le tout retourné : un côté du moule est maintenant fini. Le chapeau du moule est fixé sur le dessus du châssis précédent, et l'intérieur du modèle saupoudré. On ajoute du sable et on le tasse comme il a déjà été dit, on place une planche dessus, et on retourne le double châssis. On frappe dessus avec un maillet pour détacher les modèles, qui sont enlevés avec soin, et on saupoudre le noyau formé avec un mélange de charbon de bois et de noir de fumée. Les châssis sont clavetés ensemble, et on coule. Le fondeur fait pratiquement cinq moules avant la coulée.

Les petites sonnettes sont aussi souvent coulées dans des matrices en fonte. Il a été souvent observé que les cloches coulées avec du métal ayant déjà subi plusieurs fusions acquièrent un son désagréable ; on attribue ceci à la formation d'oxydes métalliques se dissolvant dans le métal fondu. Si un tel métal est traité par une substance désoxydante, comme le phosphore, le silicium, le manganèse, le magnésium, etc., il y a réduction des oxydes métalliques, l'oxygène s'unissant avec la substance ajoutée et passant dans le laitier. Les agents désoxydants doivent être employés en très petite quantité ; autrement l'excès rentrerait en combinaison avec l'alliage, et

ce serait un grave inconvénient au lieu d'être un remède.

Les tam-tams et les gongs chinois sont caractérisés par un son fort et pénétrant, dû au traitement mécanique auquel sont soumis ces instruments. Aussitôt que les lames sont bien solidifiées, elles sont retirées du moule, chauffées au rouge-cerise dans un fourneau, puis prises entre des disques de fer pour qu'elles ne se déjettent pas ; le tout est plongé dans l'eau froide et mis à refroidir. Après ce traitement, elles sont suffisamment malléables pour se travailler sous le marteau.

Pour les grandes cloches, le métal est fondu dans un four à réverbère, et l'alliage fondu doit être chauffé pendant quelques heures pour obtenir une texture plus homogène et moins cristalline. Si l'on doit ajouter du zinc à un tel alliage, il est préférable de le mettre sous forme de laiton, en calculant bien entendu ce que ce laiton contient de cuivre. La quantité relative des métaux formant l'alliage peut être calculée et mélangée d'après cette méthode ; mais l'opération de la fusion a une influence sur la résistance du métal. Les constituants les plus volatils se perdent en plus grande quantité que le cuivre, de sorte que le fondeur prend des essais avant la coulée et ajoute le métal qui est en déficit. L'échantillon d'essai est pris dans une petite cuiller en fer, le métal est brisé quand il est froid, et la qualité est déterminée par le caractère de la cassure, la ténacité, etc.

La description suivante de la coulée d'une grande cloche est donnée d'après le *Guide du Fondeur*, par Overmon.

La fig. 11 représente le moule tel qu'il est installé dans la fosse. Le noyau est bâti en briques, sur une plate-forme en fer ; il est recouvert d'une couche de terre franche chevelue de 20 à 25 mm. d'épaisseur ; on finit par une composition d'argile et de brique pilée finement pulvérisée. Cette dernière

est mélangée avec du crottin de cheval, auquel on ajoute un peu de sel ammoniac. Sur le noyau, la chemise est en sable argileux, mais elle est encore recouverte d'argile fine pour donner une surface polie. Les ornements qui ont été préalablement moulés dans la cire, le bois ou le métal, sont fixés sur la chemise au moyen de cire, de glu, ou de toute autre matière. Si les ornements sont de nature à empêcher le démoulage du manteau, — car le manteau ne peut pas être divisé, — ils sont fixés à la chemise par du suif, ou un

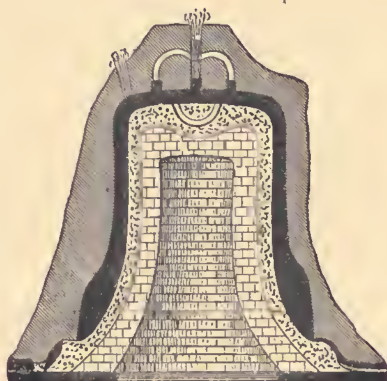


Fig. 11.

mélange de suif et de cire. Un peu de chaleur communiquée au moule fondra le suif, et les ornements pourront être retirés lorsque le manteau aura été séparé du noyau. La chemise doit être bien polie ; on ne doit employer aucun charbon, le tout étant légèrement saupoudré avec des cendres de bois. Entre le noyau et la chemise, on fait également un lit de cendres. Pour former le manteau, on enduit le noyau avec une bouillie d'argile, de briques pilées et de crottin de cheval ; par dessus, on met de la terre franche chevelue, puis de la terre franche paillée. La couronne de la cloche est moulée avec un modèle en bois après que le trousseau est retiré.

Le crochet de fer pour le marteau est placé dans le creux laissé par le trousseau ; il se trouvera ainsi pris dans le noyau et rentrera dans l'épaisseur du métal de la cloche. La paroi du moule doit être finie lorsqu'on retire le manteau. Il peut y avoir de petits défauts qui sont laissés tels s'ils ne sont pas très importants ; l'excès de métal en ces endroits est enlevé après que la cloche est coulée. Dans le finissage du moule, on doit s'efforcer d'obtenir un saupoudrage uniforme des cendres. Lorsque le moule est parfaitement sec, il est prêt à être employé. Le noyau peut être rempli avec du sable ; mais il n'y a aucun danger à le laisser ouvert, car le métal pour cloches ne dégageant pas beaucoup de gaz, il n'y a pas à craindre d'explosion. Le manteau est, dans une certaine mesure, armé en fer ; mais la principale précaution est de bien tasser le sable de la fosse. Le trou de coulée est sur le haut de la cloche, ou dans la couronne, ou, si cette dernière est ornementée, sur un côté. Les masselottes sont inutiles ; le métal étant purifié avant la coulée, il n'y a aucun danger de cendrure. »

Métal à miroirs.

§ **70**. — C'est un métal parfaitement blanc, susceptible d'un beau poli, employé d'abord pour les miroirs ; il n'est utilisé maintenant que pour la fabrication de certains objets, comme les miroirs des instruments d'optique ; il est même remplacé là par le verre. Sa composition type est représentée par la formule $SnCu^4$ (66,6 0/0 de cuivre et 33,4 0/0 d'étain). Le métal du grand télescope de lord Ross contient 68,21 de cuivre et 31,79 d'étain. Cet alliage a un éclat blanc brillant ; son poids spécifique est 8, 811 : presque aussi dur que l'acier, il est cassant. Le miroir a 1 m. 83 de diamètre et 133 mm. d'épaisseur ; il pèse plus de 3050 kgrs. La coulée

de ce miroir ne fut faite qu'après plusieurs essais. Le fond du moule consistait en une plate-forme de fer forgé, garnie de feuillards de fer placés de champ de manière que l'air, et non le métal, pouvait s'échapper à travers les fentes ; ce fond était rendu convexe au tour, de façon à reproduire fidèlement la concavité du miroir. Il était alors placé sur une surface de niveau et maintenu par une digue de sable laissée ouverte sur le dessus. Le métal était fondu dans des creusets en fonte, parce que le fer forgé et l'argile ont une action nuisible sur l'alliage. La pièce était transportée encore chaude dans le four à recuire, préalablement chauffé au rouge, et laissée là à refroidir pendant seize semaines.

Un bon métal à miroirs doit être d'un blanc pur, d'une structure à grain fin, parfaitement sain et homogène à l'état fondu, et suffisamment tenace pour résister au dressage et au polissage sans rupture. Il doit contenir de 65 à 68 0/0 de cuivre pour posséder ces qualités. Le tableau suivant donne la composition de différents alliages :

	Cuivre.	Etain.	Zinc.	Arsenic.	Plomb.	Autres métaux.
Alliage anglais.	66,6	33,4	»	»	»	»
— de Ross	68,21	31,79	»	»	»	»
Anciens miroirs	62,0	32,0	»	»	6,0	»
Alliage de Richardson . . .	65,3	30,0	0,7	2,0	»	2,0 argent
— Sallit	64,6	31,3	»	»	»	4,1 nickel
— Chinois	80,83	11,67	»	»	»	8,5 antimoine

CHAPITRE IV

BRONZES OU LAITONS POUR MACHINES.

§ **71**. — Sous ce terme général, sont compris les alliages employés dans les différentes parties des machines, telles que les coussinets et les parties soumises à un grand frottement. Ces alliages contiennent très fréquemment d'autres substances que le cuivre et l'étain. Ils doivent être suffisamment durs pour résister à l'usure et capables d'être facilement coulés sous des formes diverses, d'être travaillés à la lime et au tour, de pouvoir être adaptés à un usage donné par un traitement mécanique.

Pour les coussinets des grands essieux et pour les transmissions, spécialement lorsque la vitesse de rotation est très grande,on emploie les alliages contenant de 80 à 90 0/0 de cuivre. Ces alliages peuvent être forgés au rouge, ce qui est souvent nécessaire pour les amener sous différentes formes. Quelques alliages doivent posséder une grande résistance pour subir des chocs instantanés ; d'autres doivent offrir une faible résistance de friction sous une grosse charge, quand ils sont en contact avec d'autres métaux.

§ 72. — *Alliages pour coussinets.*

	Cuivre.	Etain.	Zinc.
Coussinets ordinaires.	84,5	13,3	2,2
Id.	83,6	12,6	3,8
Gros coussinets.	84,0	12,0	4,0
Id.	77,0	9,0	14,0
Coussinets principaux.	75,0	4,0	21,0
Essieux de locomotives	86,0	»	14,0
Id.	82,0	10,0	8,0
Essieux moyennement durs	70,0	22,0	8,0
— durs.	82,0	16,0	2,0
— très durs	89,0	»	11,0

Pour les alliages blancs pour coussinets, voyez p. 236.

Les fabricants ont des vues différentes sur les meilleurs alliages à employer dans un but déterminé, comme le montrent les proportions très variées données dans le tableau précédent. Bien plus, un alliage fait pour un usage défini ne possédera pas les mêmes propriétés dans toutes les circonstances, et il devra être modifié suivant les exigences locales. On a montré plus haut combien de petites quantités d'impuretés affectaient les propriétés des alliages, de telle sorte qu'un métal contenant des matières étrangères aura sa structure modifiée par leur présence ; c'est ce qui a sans doute conduit quelques personnes à altérer leurs alliages, parce qu'elles considéraient comme absolument purs les constituants employés. L'analyse chimique même n'expliquera pas toujours pourquoi un certain alliage possède certaines propriétés, car les qualités d'un métal peuvent lui être données à la suite d'un traitement mécanique. Le mode de fusion, de mélange, de coulage influencera aussi le résultat final.

Le tableau suivant, qui donne la composition de différents alliages, pourra servir de guide général :

	Cuivre.	Etain.	Zinc.	Plomb.	Autres métaux.
Excentriques	90,0	7,7	2,3	»	»
Id.	66,0	15,5	18,5	»	»
Pompes	84,0	7,0	9,0	»	»
Id.	34,0	50,0	16,0	»	»
Soupape de Kingston	84,2	10,5	5,3	»	»
Robinets et presse-étoupes	81,0	3,0	13,0	3,0	»
Pivots des roues à aubes	76,8	17,4	5,8	»	»
Robinets a coulisse	81,0	»	19,0	»	»
Lames et boîtes de propulseurs	57,0	14,0	29,0	»	»
Pompes hydrauliques	81,0	»	19,0	»	»
Cales pour arbres de propulseurs	80,0	5,4	14,6	»	»
Coussinets en métal blanc pour propulseurs	5,0	26,0	69,0	»	»
Roues d'engrenage	91,0	»	9,0	»	»
Sifflets à vapeur	80,0	17,0	3,0	»	»
Boîtes à étoupes	86,0	11,0	3,0	»	»
Instruments mécaniques	82,0	13,0	5,0	»	»
Segments du piston	84,0	2,9	8,3	4,8	»
Coulisse de Stephenson	19,0	31,0	19,0	31,0	»
Sterrométal pour pompes	55,0	6,0	22,5	»	16,5 de fer.
Clapets de soupape	87,0	12,0	»	»	1 d'antimoine.

Les tableaux suivants donnent les alliages employés par un grand atelier de construction de machines, se servant de résidus et de métal neuf :

	Coussinets	Pompes excentriques.	Pompes.	Robinets et presse-étoupes.	Robinets à coulisse.
Cuivre	38	38	38	38	38
Zinc	1	1	4	6	9
Plomb	»	»	»	1,5	»
Etain	7	4	3	1,5	»
Vieux métal	54	57	55	53	53

	Coussinets	Pompes excentriques.	Soupape de Kingston.	Pivots des roues à aubes.	Lames et boîtes de propulseurs.
Cuivre	56	28	112	56	16
Etain	8,5	6,5	14	12,5	4
Zinc	2,5	7,5	»	3,5	8
Vieux métal	45	70	7	40	84

	Forts coussinets.	Forts coussinets.	Coussinets principaux.	Cales pour arbres de propulseurs
Cuivre en lingots	16	16	16	56
Etain en saumons	2,25	3	2 à 3	6
Zinc	0,75	»	»	»
Vieux laitons	»	13	32	50

POMPES HYDRAULIQUES		COUSSINETS EN MÉTAL BLANC POUR PROPULSEURS	
Cuivre en lingots.	14	Cuivre en lingots. . .	6
Zinc	1,5	Etain.	32
Laiton jaune . .	3,5	Zinc..	34
Ou zinc.	1,75		

Bronze phosphoré.

§ **73**. — C'est un alliage de cuivre et d'étain contenant une petite quantité de phosphore et d'autres matières en proportions définies ; les propriétés générales de ces alliages ont déjà été discutées, de sorte que leur mode de fabrication et leur aptitude à la construction des machines ne seront point donnés ici. Cet alliage est préparé en fondant et mélangeant le cuivre et l'étain de la manière ordinaire, en y ajoutant une certaine quantité de cuivre phosphoré, ou d'étain phosphoré, ou des deux à la fois, et mélangeant bien en agitant vigoureusement. On emploie un creuset en plombagine pour éviter le contact d'autres métaux, et on recouvre d'une couche de charbon de bois ou de coke pour préserver de l'oxydation. Pour les grandes pièces, les moules sont parfaitement séchés et revêtus d'un mélange de plombagine et d'eau. Les petits objets sont coulés dans le sable vert ordinaire. Par le refroidissement, le métal passe directement de l'état liquide à l'état solide, sans prendre l'état pâteux. Lorsqu'on le refond, la composition ne change pas notablement, à moins qu'il n'y ait beaucoup de phosphore, cet élément se volatilisant légèrement. Si l'alliage est versé dans le moule à une trop haute température, il se produit une certaine séparation des constituants comme avec le bronze ordinaire, de telle sorte qu'il est préférable de couler le bronze phosphoré juste avant que la solidification ait lieu. Ceci s'obtient en ajoutant des lingots au métal fondu, et si le métal adhère après ces lingots

sans les fondre complètement, c'est un signe que la coulée peut avoir lieu.

Pour le laminage, pour l'étirage en fils, en baguettes, en tubes, pour la fabrication des verrous, des ressorts, des écrous, etc., il ne doit pas y avoir plus de 4 à 5 0/0 d'étain et 1/10 0/0 de phosphore, le reste étant du cuivre. Il peut être forgé en armes à feu de diverses sortes.

Pour les pignons, les soupapes, les accessoires des chaudières à vapeur, les pompes et les pièces d'ornementation, l'étain doit être dans la proportion de 7 0/0 environ, et le phosphore de 0,15 à 0,25. Cet alliage est fort, tenace et beaucoup plus dur que le précédent.

Pour les coussinets d'essieux, les tiroirs, les paliers, les roues d'engrenage et toutes les parties des machines soumises à un grand frottement, on a besoin d'un métal de grande dureté et de grande résistance; il doit contenir de 90 à 91 0/0 de cuivre, 8 à 9 0/0 d'étain et 0,75 à 1 0/0 de phosphore.

Si la quantité de phosphore est beaucoup plus grande que ci-dessus, les alliages sont plus durs, moins malléables et moins tenaces, et dans les cas où l'on exige une grande dureté, ils peuvent rivaliser avec l'acier. Le bronze contenant plus de 4 0/0 de phosphore ne peut pas être utilisé.

Le bronze phosphoré a l'avantage de ne pas devenir cristallin sous l'action de pliages et de chocs répétés; il est tout désigné pour les cordages. Il résiste mieux que le cuivre à l'action de l'eau de mer, et mieux que le fer et l'acier à l'action corrosive des eaux dans les mines.

Le tableau suivant, publié par la Compagnie du bronze phosphoré, montre les résultats obtenus avec des coussinets d'essieux différents, mais comme la composition des bronzes phosphorés n'est pas indiquée, ce tableau n'a qu'un intérêt secondaire comme terme de comparaison.

Résultats obtenus avec différents coussinets d'essieux.

Désignation.	Composition centésimale de l'alliage.	Prix comparatif de 100 kilogr. de coussinets, y compris la fusion, les pertes, etc.	1 kilog. de métal à coussinets correspond à : Milles allemands	Kilomètres	Usure par 1000 kilom. pour 4 coussinets	Prix du métal par wagon avec 4 coussinets par 100 kilom.	Noms des Compagnies qui les emploient.
		francs.			grammes.	s. gr.	
Métal à canons	83 cuivre, 17 étain	325	12.052	90.390	11 $\frac{60}{100}$	0,301	Austrian Railway.
id.	82 id. 18 id.	326	13.320	99.900	10 $\frac{1}{100}$	0,260	Grand Central Belge.
Métal blanc.	3 cuivre, 90 étain 7 antimoine	374	9.104	68.280	14 $\frac{64}{100}$	0,395	Austrian Railway.
id.	5 cuivre, 85 étain 10 antimoine	366	11.750	88.145	11 $\frac{35}{100}$	0,331	Niederchlesisch-Märkische Bahn.
Composition au plomb. .	84 plomb, 16 antimoine	148	10.338	77.535	12 $\frac{30}{100}$	0,145	Austrian Railway.
Bronze phosphoré. . . .	»	438	57.226	429.200	2 $\frac{33}{100}$	0,081	Grand Central Belge.
Métal à canons sur wagons à frein.	82 cuivre, 18 étain	326	1.218	9.134	109 $\frac{48}{100}$	2,844	id.
Bronze phosphoré sur wagons à frein.	»	438	14.320	107.410	9 $\frac{31}{100}$	0,325	id.

A la suite d'essais faits aux ateliers de Pittsburg, les résultats suivants ont été obtenus :

Essais de chute

(Les dimensions données dans ce tableau représentent l'état permanent de la barre essayée après le coup).

MÉTAUX ESSAYÉS	NOMBRE DE COUPS																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Bronze phosphoré. XIV. B.	mm. 4,8 *a*	6,3 *a*	9,5 *a*	11,1 *a*	12,7 *a*	15,9 *a*	17,4 *a*	19,0 *a*	19,8 *a*	20,6 *d*	22,2 *g*	23,8 *g*	25,4 *f*	19,0 *a*	17,4 *a*	14,3 *d*	12,7 *f*	9,5 *f*	Rompu.	
Bronze phosphoré. 6 × 17.	4,8 *a*	9,5 *a*	12,7 *a*	15,9 *a*	18,3 *a*	20,6 *a*	23,8 *a*	25,4 *a*	22,2 *a*	19,0 *a*	14,3 *a*	12,7 *a*	9,5 *a*	6,3 *a*	— *a*	*Chute de 0 m. 91.* 25,4 *b*	— *a*	Rompu.	»	»
Fer laminé, au charbon de bois, meilleure qualité.	6,3 *a*	12,7 *b*	17,4 *g*	23,0 *c*	26,2 *g*	22,2 *a*	14,3 *a*	11,1 *a*	4,8 *a*	— *a*	*Chute de 2 m. 44.* 33,4 *a*	— *d*	Rompu.	»	»	»	»	»	»	»
Le meilleur fer au charbon de bois, en plaques.	4,0 *a*	7,1 *a*	11,1 *b*	14,3 *c*	17,4 *c*	20,6 *c*	23,0 *c*	25,4 *c*	20,4 *a*	15,9 *a*	11,1 *d*	6,3 *f*	Rompu.	»	»	»	»	»	»	»
Le même, en plaques, débitées autrement.	4,8 *b*	9,5 *c*	14,3 *c*	19,0 *c*	Rompu.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Fer au charbon de bois, en plaques.	3,2 *a*	7,1 *c*	11,1 *c*	14,3 *c*	19,0 *c*	Rompu.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Le meilleur fer forgé, au charbon de bois.	4,8 *d*	9,5 *f*	14,3 *fc*	17,4 *f*	20,6 *f*	23,8 *fb*	27,0 *fc*	20,6 *d*	17,4 *f*	Rompu.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Poids : 67 kil. ; hauteur de chute : 0 m. 305, excepté là où il y a d'autres indications ; distance entre les supports : 0 m.102; l'instrument est en forme de coin émoussé ; dimensions des barres d'essai : 0 m. 152 de longueur, 0 m. 051 de largeur, 0 m. 102 d'épaisseur. Les lettres indiquent l'état de la surface de la barre d'essai sur laquelle le coup a été donné : *a*, saine ; *b*, légères crevasses à l'extrémité ; *c*, elles augmentent en dimensions ; *d*, légères crevasses au milieu ; *e*, elles augmentent en nombre ; *f*, elles augmentent en dimensions ; *g*, inaltérée ; — droite ; ⌒ renversée.

Des expériences ont été faites à Vienne, à l'Institut impérial polytechnique d'Autriche, par le Professeur R. Jenney sur des barres de bronze phosphoré ; il a obtenu les résultats suivants :

Degré d'élasticité.	Résistance au point d'élasticité.	Résistance au point de rupture.
9875	13,74 kil. par mmq. ou 19,857 lbs. par pouce carré.	40,40 kil. par mmq. ou 58,383 lbs. par pouce carré. . . . .

A l'arsenal impérial de Vienne, le colonel Uchatius a fait divers essais :

	Résistance absolue.	Point d'élasticité.	Tension pour 100.
Bronze phosphoré. .	5.600 kil. par cmq. ou 81.795 lbs. par pouce carré. . . .	3.800 kil. par cmq. ou 54.915 lbs. par pouce carré. . . .	1.6
Acier coulé Krupp pour canons . . .	5.000 kil. par cmq. ou 72.258 lbs. par pouce carré. . . .	1.000 kil. par cmq. ou 14.450 lbs. par pouce carré. . . .	11.0
Bronze d'artillerie. .	2.200 kil. par cmq. ou 31.792 lbs. par pouce carré. . . .	385 kil. par cmq. ou 5.562 lbs. par pouce carré	13.0

Bronze silicié.

§ 74. — En 1881, M. Weiller d'Angoulême fit une série d'expériences avec les fils de bronze phosphoré, pour les essayer au point de vue télégraphique et téléphonique ; il trouva que cet alliage avait une conductibilité de un tiers moins grande que celle du cuivre, mais 2 fois et demie plus grande que celle du fer et de l'acier. La conductibilité n'étant pas suffisante pour la télégraphie, il fit du bronze silicié, alliage de cuivre et d'étain contenant du silicium. Il obtint ainsi un fil présentant la même résistance à la rupture que le bronze phosphoré, mais beaucoup plus conducteur et apte à servir dans la télégraphie. M. W. H. Preece dit que le phosphore a une influence très fâcheuse sur la conductibilité électrique du bronze, et que le bronze silicié lui est supérieur et l'a remplacé complètement. Il est aussi important de noter que, bien que les fils de bronze silicié soient beaucoup plus légers que les fils ordinaires, ils ont une résistance égale. On affirme que s'ils se brisent, ils ne tomberont pas à terre comme les fils ordinaires ; à cause de leur grande élasticité, ils rebondiront et se mettront en pelote. Il en est de même avec le bronze phosphoré. Le tableau suivant donne les propriétés comparatives de différents fils :

	Résistance de tension en kilog. par mm.²	Résistance électrique en ohms par kilomètre.	Conductibilité relative.
Cuivre pur	28,0	20,6	100
Bronze silicié (télégraphe)	45,0	21,4	96
Id. (téléphone)	76,0	64,0	34
Bronze phosphoré	72,0	77,0	26
Fer de Suède, galvanisé	36,0	134,0	16
Acier Bessemer	40,0	154,0	13
Acier Siemens-Martin	42,0	165,0	12

E. van der Ven (1) a fait une série d'expériences pour déterminer la valeur des bronzes phosphoré et silicié employés en électricité, principalement au point de vue des fils de téléphone : le bronze phosphoré a une conductibilité égale environ aux 30 centièmes de celle du cuivre, celle du bronze silicié étant les 70 centièmes ; celle de l'acier est seulement les 105 millièmes de celle du cuivre. Comparant les résistances à la tension, il trouve qu'un fil d'acier, de 2 millimètres de diamètre, avec une enveloppe de protection quadruple et la *flèche* conventionnelle de 0,7 millimètre, peut avoir une portée de 130 mètres de poteau à poteau. La portée d'un fil de bronze phosphoré, de 1 millimètre de diamètre, dans les mêmes conditions, serait de 106 mètres, et celle d'un fil de bronze silicié de 91 mètres. Ces alliages, avec des diamètres respectifs de 1,18 millimètre et 0,77 millimètre, ont la même résistance électrique qu'un fil d'acier de 2 millimètres de diamètre.

Le bronze silicié est précieux à cause de sa grande résistance et de sa grande ténacité, de sa conductibilité et de sa résistance à la corrosion sous l'influence des agents atmosphériques ; il est un des meilleurs moyens pour la transmission de la force électrique. Il peut être fait presque aussi fort que l'acier, et a une conductibilité triple. La fabrication de cet alliage a été beaucoup perfectionnée ; les derniers échantillons ont une conductibilité moindre pour l'électricité, mais une plus grande résistance de tension, ce qui permet aux fils d'être rendus plus fins et aux supports d'être à plus grande distance. Les fils de bronze silicié sont très employés sur le continent pour les téléphones ; ils résistent remarquablement bien à l'action de vents violents, ce qui est dû, dans une certaine

(1) Musée Teyler, *Electrotechnische Zeitsch.*, 1887.

mesure, au petit diamètre du conducteur. Dans un cas, à Reims, une ligne ayant une portée de 300 mètres fut exposée à l'action d'un vent soufflant directement en travers ; elle résista admirablement. La Compagnie générale italienne des téléphones a employé des fils de bronze silicié pendant quelque temps, sans aucun accident. Des ingénieurs des chemins de fer ont prouvé que cet alliage résistait à l'action de la neige dans les pays froids et montagneux. Lorsque les fils ont été recouverts avec la neige et affaissés considérablement, ils reprennent immédiatement leur position normale dès que la neige est enlevée. Les poteaux de la Compagnie des chemins de fer d'Autriche, qui utilise le bronze silicié, sont distants de 100 à 220 mètres dans le pays de plaine, et de 50 à 150 mètres dans la région montagneuse. M. Robbey (1) dit que le blizzard, qui faisait tant de mal aux fils télégraphiques dans les États-Unis en 1887, ne rompait point ceux faits en bronze silicié.

D'après Weiller, le cuivre silicié et le bronze silicié sont faits de la manière suivante. Il recommande les proportions indiquées ci-dessous : en poids, 450 parties de fluosilicate de potasse, 600 de verre pilé, 250 de sel ordinaire, 75 de carbonate de soude, 60 de carbonate de chaux et 500 de chlorure de calcium sec. Le mélange est chauffé dans un creuset de plombagine couvert, un peu au-dessous de la température où les différentes matières commencent à réagir l'une sur l'autre ; il est alors ajouté au cuivre ou au bronze fondu. Le silicium réduit se combine avec le métal ou avec l'alliage.

L'action du silicium sur le cuivre ou le bronze est semblable à celle du phosphore. Il agit comme désoxydant, et la silice formée étant acide, c'est un flux excellent pour les quel-

(1) *Mémoire lu à l'Institut des ingénieurs du Cleveland*, déc. 1888.

ques oxydes métalliques encore non réduits. Le silicium entre aussi en combinaison chimique avec l'alliage.

Bronze de manganèse.

§ 75. — C'est une nouvelle combinaison introduite par M. P. M. Parsons (1). Le cuivre et le fer s'unissent à haute température en proportions variées, en formant des alliages de grande dureté, et si le fer existe dans une certaine proportion, la ténacité et l'élasticité du cuivre sont augmentées. Les mêmes remarques s'appliquent au laiton et au bronze. Il paraît établi cependant que les propriétés précédentes sont acquises aux dépens de la ductilité et de la dureté. L'effet du fer étant connu, quelques métallurgistes ont essayé l'influence du manganèse, en réduisant l'oxyde de manganèse par le carbone en présence du cuivre. MM. Stirling et A. Parkes ont tous deux employé le manganèse pour l'allier au cuivre, au laiton et à d'autres alliages. M. Everitt, de Birmingham, a introduit le manganèse dans le métal jaune pour le doublage des navires et usages semblables.

Aucune expérience comparative, quant à la résistance, à la dureté, à la ductilité et aux autres propriétés de ces alliages, ne semble avoir été publiée. L'effet du manganèse est d'ajouter quelque chose à la ductilité et à la dureté des alliages de cuivre, et de permettre au cuivre, au zinc, etc., de qualité ordinaire d'être employés pour des usages déterminés. En 1876, M. Parsons introduisait son mode de fabrication des laitons et bronzes manganésés en mélangeant le ferromanganèse avec du cuivre, et utilisant cet alliage triple pour faire des alliages variés de cuivre, tels que le laiton et le bronze.

(1) *British Assoc. Report*, 1883.

§ **76.** — *Cupromanganèse.* — Le cuivre et le manganèse s'unissent en proportions variées, formant des alliages rouges comme le cuivre, ou blanc d'argent, suivant la quantité de manganèse présent. Ils possèdent une dureté et une ténacité considérables ; quelques-uns sont très ductiles et plus fusibles que le bronze ordinaire. Coulés dans des moules, ils sont très sains et exempts de soufflures. La grande difficulté d'obtenir des alliages contenant beaucoup de manganèse est due à l'affinité de ce métal pour l'oxygène et à la haute température nécessaire pour réduire l'oxyde de manganèse généralement employé comme source du métal. Ceci rend très difficile la production d'alliages homogènes avec une quantité donnée de manganèse.

L'oxyde pur de manganèse ne se rencontre pas dans la nature, sauf de rares exceptions ; le minerai généralement employé est la *pyrolusite*, qui contient des oxydes d'autres métaux, réduits en même temps que le manganèse et entrant dans la composition de l'alliage. La pyrolusite est employée dans la fabrication du chlore, et le produit accessoire peut être utilisé pour obtenir un oxyde de manganèse relativement pur, qui sert à faire le *cupromanganèse* en le réduisant avec du cuivre.

Le cuivre est finement granulé, mélangé avec du charbon de bois et de l'oxyde sec de manganèse, en couches alternatives, dans un creuset de plombagine ; le tout est couvert avec une épaisse couche de poudre de charbon de bois. On met un couvercle pour empêcher l'accès de l'air ; on place le creuset dans un fourneau à vent et on l'expose à la plus haute température pendant quelques heures. L'oxyde est graduellement réduit à l'état métallique et s'allie au cuivre, formant le cupromanganèse qui se réunit dans le fond du creuset. Lorsque l'opération est terminée, le creuset est retiré du fourneau,

et le contenu est vigoureusement agité avec une baguette de fer pour mélanger complètement les constituants et avoir un alliage homogène. Le métal ainsi obtenu est blanc d'argent et ressemble au maillechort.

Le cupromanganèse est considérablement altéré par des fusions répétées, car le manganèse s'oxyde facilement ; le manganèse métallique n'étant pas commercial, on ne peut pas en ajouter pour réparer la perte, de même qu'on ajoutait du zinc au laiton. Bien plus, le creuset est fortement attaqué par l'oxyde de manganèse, qui a une forte affinité pour la silice et donne un laitier liquide. Les alliages contenant de 15 à 30 0/0 de manganèse ont une couleur blanche ; ils sont durs, très tenaces, et peuvent être forgés et laminés.

En faisant des alliages de laiton, bronze ou maillechort contenant du manganèse, le cupromanganèse doit être rapidement fondu sous le charbon de bois et ajouté à l'alliage ; le tout est alors mélangé et coulé aussi vite que possible. Les proportions généralement employées sont les suivantes :

	I	II	III	IV
Cuivre.	75	65	60	60
Manganèse	25	20	25	20
Zinc.	»	5	15	»
Etain	»	»	»	10
Nickel.	»	10	»	10

§ 77. — *Cupro-ferromanganèse.* — M. Parsons prépare cet alliage en mélangeant une certaine proportion de ferromanganèse (alliage de fer et de manganèse) avec du cuivre, puis le produit est transformé en alliages similaires au bronze, au laiton et autres alliages de cuivre. Le ferromanganèse et le cuivre sont fondus dans des creusets séparés, et l'alliage ferrifère ajouté au cuivre. L'effet de cette combinaison est ana-

logue à ce qui se produit par l'addition du ferromanganèse au fer décarburé dans le Bessemer. Le manganèse et le fer à l'état métallique, ayant une grande affinité pour l'oxygène, purifient le cuivre des oxydes qu'il peut contenir, en se combinant avec l'oxygène ; ces oxydes montent à la surface sous la forme de laitier, et rendent ainsi le métal dense et homogène. Une portion du fer et du manganèse est utilisée de cette façon, et le reste se combine d'une manière permanente au cuivre, jouant un rôle important en améliorant et modifiant les propriétés des alliages de laiton et de bronze préparés avec le cuivre ainsi traité. L'effet est surtout d'augmenter la résistance, la dureté, la ténacité, à la volonté du fabricant, d'après la quantité de ferromanganèse employé et les proportions de fer et de manganèse dans ce ferromanganèse. On voit donc que ce procédé de faire le bronze de manganèse est tout à fait différent de celui décrit plus haut, et que le fer est ajouté à l'état combiné au manganèse.

Un autre point de grande importance que l'inventeur fait ressortir, c'est l'exactitude avec laquelle le fer et le manganèse peuvent être mélangés, et l'effet contrôlé par addition du ferromanganèse au cuivre. La quantité de manganèse nécessaire pour la désoxydation du cuivre et pour la combinaison étant bien connue par expérience, il est établi que de très légères variations ont un effet certain sur les propriétés des alliages produits. La ténacité peut être augmentée, et la dureté diminuée, ou inversement, comme l'on veut, de la même façon que dans la fabrication de l'acier, en augmentant ou diminuant le pourcentage du carbone et du manganèse. En préparant le ferromanganèse pour son usage, M. Parsons préfère un alliage riche en manganèse, de 50 à 60 0/0. Celui-ci est fondu avec une certaine proportion de résidus de fer forgé de bonne qualité, de façon à ramener le

manganèse à la proportion voulue. En même temps, le peu de silicium qu'il contient est réduit et le métal raffiné. On peut faire quatre qualités de ferromanganèse, contenant de 10 à 40 0/0 de manganèse métallique. Les métaux où il y a moins de manganèse sont employés pour les alliages de cuivre où il y a plus de zinc que d'étain, et les autres pour ceux qui ne contiennent que de l'étain, ou dans lesquels il y a plus d'étain que de zinc. La quantité de ferromanganèse ajouté varie généralement de 2 à 4 0/0.

La « Manganese-Bronze and Brass Company » a fabriqué cinq différentes qualités de l'alliage ci-dessus. Dans les qualités inférieures, le zinc allié est considérablement en excès sur l'étain. Ces alliages sont coulés dans des moules métalliques, puis forgés, laminés ou travaillés à chaud et transformés en tubes, plaques, doublages, fils, etc. Ils ne sont pas employés pour les moulages en sable. Une des plus importantes applications de la seconde qualité est de produire des articles coulés sous pression dans des moules métalliques. Les pièces ainsi obtenues sont réputées avoir toutes les caractéristiques de l'acier forgé, telles que la résistance, la ténacité et la dureté. Cet alliage est parfaitement homogène ; quoique ne possédant pas une texture fibreuse par suite du laminage ou du martelage, il présente encore ce caractère, non pas dans une direction, mais dans toutes les directions ; et s'il est brisé, on obtient une belle cassure soyeuse. Sa résistance à la tension est de 50 à 55 kg. par mm. carré, et sa limite élastique de 25 à 35 kg., avec un allongement maximum de 12 à 22 0/0. Soumis à une pression, il se rétrécira sur lui-même avec une force égale jusqu'à sa limite élastique, et s'il est déchargé, il reviendra d'une quantité égale à environ le double de celle de l'acier. Un cercle rétréci sous l'action d'un cylindre solide de fer a donné les résultats suivants : il s'est étendu à chaud de

0,03 de son diamètre, et, refroidi et déchargé, il est revenu environ de 0,003 de son diamètre.

Sa dureté est à peu près égale à celle de l'acier doux. Il a été comparé au métal à canons, au fer forgé et à l'acier; les essais étaient faits à l'aide d'un couteau à bord tranchant qui agissait sur la surface de ces métaux; il a été fait une dent d'égale longueur dans chacun d'eux; les pressions nécessaires étaient les suivantes :

Métal à canons.	12
Fer forgé	15
Acier doux.	20
Acier doux trempé dans l'huile . . .	25
Bronze manganèse	20
Bronze manganèse durci par pression.	22 à 23

Ces résultats désignent cet alliage comme très convenable pour la construction des cylindres hydrauliques et autres, qui doivent résister à de grands efforts, et aussi pour l'artillerie.

Le n° 3 est principalement composé de cuivre et d'étain, à peu près dans les mêmes proportions que le métal à canons, plus une grande quantité de ferromanganèse. Ses caractères principaux sont une grande résistance transversale, la ténacité, la dureté, la facilité avec laquelle il peut être coulé ; les pièces obtenues sont saines et homogènes. Cet alliage peut être fondu sans danger dans un fourneau à réverbère, ce qui est très important pour la fabrication des grandes pièces. M. Parsons dit qu'une barre de ce métal de 25 mm. en carré, coulée dans le sable de la manière ordinaire, placée sur des supports distants de 0 m. 305, ne se brise que sous une charge de 1900 kg. ; avant de se rompre, elle se courbe à angle droit, et elle peut supporter une charge de 770 à 820 kg. sans prendre une déformation permanente. Cet

alliage est employé pour les roues à engrenages, les supports et connexions des machines, les tourillons, les supports des principaux coussinets des machines, les boîtes à graisse et les autres parties des machines locomotives. Il est aussi utilisé pour la sculpture, de même que pour la fabrication des grandes cloches.

La plus importante des applications de cette qualité de bronze manganésé, au point de vue commercial, semblerait être dans la construction des hélices des bateaux à vapeur. A cause de la grande résistance et de l'inaltérabilité de ce métal, les ailettes de l'hélice peuvent être faites moins épaisses que si l'on employait l'acier. Leurs surfaces sont très unies, et après être coulées, elles conservent théoriquement leur forme ; avec l'acier, il faut tenir compte de la corrosion possible, du manque de ténacité par suite de l'augmentation de l'épaisseur ; de plus, la forme des ailettes est modifiée pendant l'opération du recuit qu'elles doivent subir après la coulée. Il a été prouvé par les journaux de quelques bateaux à vapeur qui avaient eu leurs hélices d'*acier* remplacées par des hélices de *bronze manganésé*, que leur vitesse avait été augmentée et la consommation de charbon diminuée, pendant que le poids, les vibrations et les efforts sur le navire et sur la machinerie avaient été considérablement réduits. Bien plus, en même temps que ces avantages, il y a une grande diminution de prix, si l'on considère la durée moyenne d'un vaisseau ; car quoique le prix d'installation d'une hélice en bronze manganésé soit le double de celui d'une hélice en acier, pratiquement elle est indestructible ; l'hélice en acier doit être renouvelée à la fin de la troisième année de service, ce qui en porte le prix moyen à deux ou trois fois celui de l'hélice en bronze manganésé.

Ces qualités remarquables du bronze manganésé n° 3 sont démontrées par un accident survenu à l'hélice du *Garth Castle*, lancé par MM. John Elder et Cie, en 1880. Au moment du lancement, une ailette vint en contact avec la jetée et fut courbée presque à angle droit, sans craquement ; elle put être ramenée par martelage à froid à sa forme primitive. Un autre exemple est donné par l'hélice du *Mosel*, de la « North Company Lloyd », qui fit naufrage ; on retrouva l'une des ailettes de l'hélice complètement doublée sur elle-même, ce qui donne une idée de la ténacité du métal.

Les numéros 4 et 5 n'ont aucune propriété particulière quant à la résistance, mais ils sont plus recherchés pour les coussinets, les tiroirs, les glissières, les segments de piston, etc.

ESSAI DE BRONZE MANGANÉSÉ AU POINT DE VUE « TENSION ».

Numéros.	Description.	Limite élastique en kil. par mm².	Force de rupture en kil. par mm².	Allongement maximum p. 100.	Remarques.
1	N° 1, tubes laminés à chaud.	17,3	45,7	44,6	Doux, recuit pour river à froid.
2		20,7	46,2	33,4	Recuit.
3		37,1	49,8	26,5	A la sortie du laminoir.
4		38,3	49,5	23,3	
5		54,2	62,5	11,6	A la sortie du laminoir et fini à froid.
1	N° 2, lames laminées à chaud.	22,1	44,9	23,2	A travers la fibre (Recuits.)
2		22,1	47,5	47,8	Suivant — (Recuits.)
3		23,3	48,5	34,1	A travers — (Recuits.)
4		26,3	47,5	28,8	Suivant — (Recuits.)
1	N° 2, coulé sous pression.	28,4	55,2	22,0	Coulé dans un cylindre de fer et pressé à l'état liquide; le n° 1 vient des parois du lingot, le n° 2 du centre.
2		25,6	50,3	11,4	

ESSAI DE BRONZE MANGANÉSÉ, AU POINT DE VUE « TORSION ».

Numéros.	Description.	Diamètre en mm.	Moments de torsion en kilogrammètres. Limite élastique	Limite de rupture.	Accroissement de la torsion en fonction du diamètre, nombre de tours.	Remarques.
1	N° 2, coulé sous pression.	15,80	13,5	38,6	0,183	Torsion uniforme.
2		15.85	13,8	38,8	0,166	id.
3	N° 1, laminé.	15,77	12,8	33,1	0,175	Recuit.
4	Tube.	15,77	22,8	37,3	0,165	Laminé à chaud et essayé à la sortie des laminoirs.

Le n° 3 a été retiré non brisé de la machine. Le n° 4 était rompu, montrant une surface nette.

ESSAI D'UNE BARRE DE BRONZE MANGANÉSÉ N° 3
AU POINT DE VUE DE L'EFFORT TRANSVERSAL.

(*1 carré de* 25 *mm., coulé dans le sable, placé sur des supports distants de* 0 *m.* 305 *; une pression constante est exercée sur le milieu de la barre.*)

Effort en kilog.	Ecart par effort de haut en bas-mm.	Ecart permanent par effort de bas en haut-mm.	Effort en kilog	Ecart par effort de haut en bas-mm.	Ecart permanent par effort de bas en haut-mm.
273	0,64	»	849	5,3	3,0
341	0,76	»	956	11,2	8,6
409	1,00	»	1092	21,8	18,5
478	1,15	»	1229	41,1	36,6
546	1,52	0,13	1263	50,0	»
580	1,65	0,25	1297	Supporte l'effort sans rupture, et se courbe à angle droit.	

EXPÉRIENCES SUR L'EFFORT TRANSVERSAL ET LA TÉNACITÉ DE BARRES DE BRONZE MANGANÉSÉ, COMPARATIVEMENT AU FER FORGÉ ET AU MÉTAL A CANONS, PAR APPLICATION D'UN POIOS SUR LE MILLIEU DE LA BARRE SOUTENUE A CHACUNE DE SES EXTRÉMITÉS.

(Poids du mouton, 22 kg. 7 ; hauteur de chute, 1 m. 524 ; distance entre les supports, 0 m. 305 ; dimension de la barre : carré de 25 mm. sur 0 m. 356 de long.)

Nombre de coups	Fer forgé		Métal à canons						Bronze manganésé			
	Laminé		Coulé dans le sable						N° 3 coulé dans le sable		N° 1 forgé	
	N° 1	N° 2	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
	mm.											
1	14,5	14,7	20,8	21,8	22,9	18,3	18,5	11,7	16,8	15,2	15,0	15,2
2	27,9	29,2	38,1	40,1	41,4	33,5	36,1	brisé	30,5	29,2	26,9	27,4
3	41,1	43,4	43,2	56,4	59,7	48,8	38,6	»	43,2	40,6	36,6	38,1
4	54,1	56,6	brisé	brisé	72,6	49,3	brisé	»	56,6	52,6	45,7	48,0
5	67,3	70,4	»	»	brisé	brisé	»	»	67,8	64,0	53,8	57,4
6	81,0	85,6	»	»	»	»	»	»	79,0	75,4	62,2	67,3
7	95,8	101,3	»	»	»	»	»	»	90,9	86,1	75,4	75,9
8	111,5	117,6	»	»	»	»	»	»	102,1	102,6	77,5	85,9
9	non brisé	»	»	»	»	»	»	»	non brisé	à moitié brisé	84,6	non brisé
10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	non brisé	»
11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
12	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
13	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Métal à canons. — Les échantillons n°s 1, 2 et 3 provenaient de locomotives appartenant à un des chemins de fer aboutissant à Londres ; ils furent essayés en présence d'un officier du département ; ils représentent très bien les qualités des métaux généralement employés pour ce genre de travail, et fournis par les fondeurs. Les n°s 4 et 5 furent spécialement coulés et composés de cuivre très pur (16 parties) et d'étain anglais (2 parties). Le n° 6 était formé de 16 parties de cuivre pour 2,5 d'étain.

M. Parsons dit que, dans les différentes variétés de son bronze manganésé, les éléments sont combinés en proportions atomiques, et il estime que, par ce moyen, les alliages sont plus fins en texture, plus homogènes, plus forts et d'un caractère plus stable que s'il n'y avait pas combinaison. Ainsi dans le n° 3, l'addition de 0,25 0/0 d'étain, au lieu de rendre l'alliage plus dur et plus fort comme on pourrait le penser d'après les idées généralement admises, le fait plus mou et plus faible, le grain devenant plus grossier. La même chose arrive si on augmente la proportion d'étain de 0,5 à 1 0/0, jusqu'à ce que l'étain arrive à une autre proportion atomique, lorsqu'un alliage de caractère différent apparaît ; mais il redevient d'un grain fin, sain, homogène et stable. Comme preuve à l'appui de cette théorie, il dit que si le n° 3 est passé dans un fourneau à réverbère et exposé à l'action de la flamme oxydante pendant un temps considérable, il n'y a aucune différence appréciable dans la composition de l'alliage. Les mêmes remarques, dans une grande mesure, s'appliquent aux n°s 1 et 2, et quoique le zinc se volatilise par des fusions répétées, il emporte avec lui le complément atomique du cuivre, de telle sorte que les proportions de ce qui reste sont les mêmes.

Ceci semble être confirmé par la couleur des fumées condensées, qui, au lieu d'être blanches comme si elles étaient produites par le zinc seul, ont une belle couleur rose, qui peut être attribuée à la présence du cuivre.

Une autre preuve, peut-être encore plus convaincante, de la combinaison des métaux dans leurs proportions atomiques, donnée par M. Parsons, est que le poids spécifique de ces alliages est sensiblement supérieur à celui des alliages où il n'y a pas combinaison, quoique dans ce dernier cas le métal le plus lourd soit en excès. Le bronze manganésé n° 1, qui

contient une grande quantité de zinc et qui, d'après ses constituants, doit être comparativement léger, a un poids spécifique égal à celui du métal à canons, composé de cuivre et d'étain ; il est de beaucoup supérieur à la moyenne des deux métaux le composant, ce qui indique que ces métaux doivent être combinés de telle façon que chacun d'eux remplit les espaces infiniment petits existant entre les molécules de l'autre ; et s'ils ne forment pas actuellement ce que les chimistes admettent être un composé chimique parfait, certainement ils s'en rapprochent beaucoup, et ne peuvent pas être considérés comme mélangés ensemble au hasard.

Les qualités stables du bronze manganésé sont enfin dues à l'action du manganèse métallique sur le cuivre, débarrassant ce dernier des oxydes et le mettant en contact continuel avec les métaux ajoutés ; les composants se combinent ainsi d'une manière plus parfaite que s'il n'y avait pas de désoxydant.

Bronze d'aluminium.

§ **78.** — C'est un alliage de cuivre et d'aluminium ; il y en a de différentes qualités suivant la quantité d'aluminium, qui est généralement en petites proportions par rapport au cuivre. Les alliages contenant 60 0/0 d'aluminium et plus sont durs, secs et cristallins. Avec des quantités égales des constuants, on a un alliage mou et si la quantité d'aluminium est plus petite que 30 0/0, la dureté réapparaît. Une petite quantité d'aluminium dans le cuivre réduit considérablement sa conductibilité électrique. Les alliages contenant 10 0/0 et moins sont ceux qui sont généralement fabriqués, celui à 10 0/0 étant peut-être le meilleur.

Deville dit qué les alliages à 2 et 3 0/0 sont employés par M. Christofle pour les grandes pièces artistiques. Ils sont

plus durs que l'aluminium et se travaillent bien au burin et au ciseau.

Les propriétés utiles de l'alliage à 10 p. 100 ont d'abord été décrites par M. Debray. Il est très dur ; il peut être écroui à froid, mais d'une façon beaucoup plus parfaite à chaud, et peut être comparé au fer auquel il ressemble quant à ses propriétés physiques ; il est aussi très ductile. Il se comporte comme un véritable alliage, et par conséquent ne se liquate pas. Ceci est prouvé par le fait suivant : en faisant l'alliage, si au *cuivre pur* on ajoute une barre d'aluminium, la combinaison se fait avec un tel dégagement de chaleur que le creuset fond s'il n'est pas de bonne qualité, car le tout est porté au blanc. La couleur du bronze d'aluminium est exactement celle de l'*or vert* (alliage d'or et d'argent) ; le bronze prend un beau poli, comparable à celui de l'acier. Les propriétés chimiques diffèrent très peu de celles de la plupart des alliages de cuivre. Cependant on a trouvé qu'il résistait mieux à l'action des agents chimiques, spécialement à l'eau de mer et à l'hydrogène sulfuré. La ténacité est celle de l'acier. D'après des expériences relatives à l'usure des paliers, il est reconnu résister mieux qu'aucun autre métal à palier essayé. La malléabilité est presque parfaite, comme l'établit le rapport de M. Boudaret, ingénieur : « 1° le bronze d'aluminium est malléable à toutes les températures ; 2° il est parfaitement malléable au rouge, se brisant moins et s'allongeant plus que le cuivre pur ; 3° il est difficile à laminer à froid ; après quelques passages, il cesse de s'allonger, et doit alors être recuit très souvent, ou bien il se rompt ; 4° de ce qui précède, il résulte qu'il faut le laminer à une aussi haute température que possible, inférieure à la fusion ; le recuit et la trempe le rendent plus doux qu'un simple recuit. Si, après avoir été recuit au rouge éclatant, on le laisse refroidir dans l'air jus-

qu'au rouge, et si on le plonge alors dans l'eau froide, il est assez ductile et malléable à froid pour être travaillé industriellement. »

Ces faits furent annoncés quelque temps après par le Dr Percy. D'après MM. Tissier, de même que le cuivre augmente la dureté de l'aluminium, de petites quantités d'aluminium augmentent la dureté du cuivre ; cependant l'aluminium ne modifie point la malléabilité du cuivre, et il le rend susceptible de prendre un beau poli ; suivant les proportions, la couleur varie de celle de l'or rouge au jaune pâle. Ces alliages s'altèrent beaucoup moins par des fusions successives que ceux du cuivre avec le zinc et l'étain employés pour les mêmes usages. Un alliage à 10 0/0 d'aluminium est plus dur que notre monnaie d'or ; il prend un beau poli par le brunissage, et a la couleur de l'or pâle des joailliers : il peut être forgé et travaillé comme le cuivre. L'alliage à 5 0/0 est moins dur que le précédent, mais comme lui, il est susceptible d'un beau poli ; sa couleur s'approche de celle de l'or pur. Les alliages contenant de 5 à 10 0/0 d'aluminium peuvent avoir leur couleur changée à volonté en les attaquant, soit par l'acide nitrique qui enlève le cuivre et laisse l'aluminium, soit par l'acide chlorhydrique qui enlève l'aluminium laissant le cuivre. La résistance, la dureté et l'élasticité, qui sont données au cuivre par l'addition de petites quantités d'aluminium, rendent ces alliages très importants au point de vue industriel.

D'après Mierzenski, deux points sont à considérer dans la fabrication du bronze d'aluminium. On doit d'abord *employer du cuivre pur*. Il serait préférable de prendre le cuivre électrolytique, mais il coûte généralement trop cher. La qualité qui s'en rapproche le plus est la marque *Lake Superior* ; le cuivre commercial ordinaire donne des résultats très différents, à cause de l'antimoine, de l'arsenic, de l'étain, du zinc

et du fer qu'il peut renfermer. Le bronze est détérioré s'il y a du zinc ou de l'étain. De plus, l'alliage doit être refondu deux ou trois fois pour faire disparaître son aigreur.

Selon toute probabilité, le pourcentage d'aluminium augmente par les fusions répétées. Les alliages usuels sont ceux à 1, 2, 5 et 10 0/0 d'aluminium. Le bronze à 5 0/0 est couleur d'or ; il se polit très bien et se coule parfaitement ; très malléable à chaud ou à froid, il a une grande résistance, spécialement après le martelage. Le bronze à 7, 5 0/0 est recommandé comme supérieur à celui à 5 0/0 ; il a une couleur d'or vert particulière qui le fait apprécier pour les usages ornementaux. Le bronze à 10 0/0 a une ténacité de 70 kg. 3 par $mm.^2$, une résistance à la compression de 91 kg. 4 par $mm.^2$; sa ductilité et sa ténacité sont telles qu'il ne craque même pas lorsqu'il est tordu sous l'action de cette charge. Il est si ductile et si malléable qu'il peut être étiré sous le marteau jusqu'à la finesse d'une aiguille à batiste. Il se travaille bien, il se coule bien, il présente une belle surface sous l'outil, et s'il est exposé aux intempéries, il se comporte comme un des meilleurs bronzes connus. Son prix élevé l'a seul empêché de prendre de l'extension dans les arts. Les alliages sont très uniformes en caractère. Chaque 1 0/0 d'aluminium ajouté au cuivre cause une augmentation considérable de sa ductilité ; il augmente sa fusibilité et le rend apte à être coulé. 2 0/0 donnent un alliage employé pour les pièces destinées à être travaillées au ciseau. Il est adouci par un rapide refroidissement après avoir été chauffé au rouge. Son coefficient de dilatation est petit aux températures ordinaires. Il a une grande élasticité à l'état de ressorts (1).

Les résultats suivants ont été obtenus avec les bronzes de la « Cowles Company » :

(1) Thurston, *Materials for Engineering.*

Alliages.	Résistance à la traction en kgr. par mm².	Allongement.
A — 11 0/0 dur spécial	71 à 79	De 0 à 5 0/0
A1 — 10 0/0	63 71	» 4 8 »
A2 — id.	53 60	» 8 17 »
A3 — id.	44 50	» 18 25 »
B — 7,5 0/0	39 44	» 25 30 »
C1 — 5,5 0/0	33 39	» 30 35 »
C2 — 5 0/0	28 33	» 35 40 »
C3 — id.	24 28	» 40 50 »
D — 2,5 0/0	19 24	» 45 60 »
E — 1,25 0/0	14 19	» 20 35 »

Les échantillons A dur spécial, A 1 et A 2 conservent leur résistance sur une grande échelle de températures. Les échantillons B et C se laminent et se forgent à chaud ; ils s'étirent à froid. La couleur de ces derniers bronzes est semblable à l'or-18 carats ; ils prennent et conservent un brillant poli.

Coulée du bronze d'aluminium. — Le point de fusion du bronze d'aluminium varie quelque peu avec la quantité d'aluminium, les plus riches alliages fondant plutôt à une température inférieure à celle des moins riches. Le bronze à 10 0/0 fond environ à la même température que le métal à canons (930°C.). Il se contracte environ deux fois autant que le laiton ; aussi doit-on en tenir compte dans le modèle et le moule. Comme le métal se solidifie rapidement, il est nécessaire de le couler vite et de faire les ouvertures assez larges, pour qu'il n'y ait pas de congélation dans ces ouvertures avant que la coulée ne soit complètement terminée. Pour prévenir la contraction autant que possible, le métal est versé dans le moule à une température ne dépassant pas celle qui lui permet de couler librement. S'il y a une grande quantité de métal dans la forme environnant le noyau, la contraction résultant de la solidification sera accompagnée de rupture, à moins que le noyau ne soit tel qu'il puisse suivre le phénomène de contraction. Des moules en sable cuit sont préférables à ceux en sable vert, excepté pour les petites pièces.

Au lieu de noyaux en sable vert ordinaire, il est recommandé d'employer de la résine dans du sable grossier et beaucoup de cendres. Les noyaux peuvent être installés sur des lits de foin, s'ils sont grands ; autant que possible, si la forme du moule l'exige, on l'enlève lorsque le métal est solidifié pour éviter la rupture de la pièce.

Une des principales difficultés que l'on rencontre dans la coulée du bronze d'aluminium est l'oxydation du métal pendant son transvasement du creuset ou de la cuiller dans le moule. Si quelque pellicule d'oxyde flotte à la surface du métal pendant la coulée, il apparaîtra là comme très sale ; ce pourra être la cause d'une coulée défectueuse. Le trou de coulée ordinaire évitera cet inconvénient dans le cas de petites pièces ; pour les grandes pièces, le métal est d'abord versé dans un récipient mis en communication avec le trou de coulée ; mais il ne peut entrer dans le moule à cause d'un bouchon qui ferme l'ouverture du trou. Pour faire comprendre plus clairement, imaginez le trou de coulée ayant la forme d'un entonnoir, dans lequel le métal est d'abord versé ; mais il ne peut couler dans le moule, à cause du bouchon mentionné plus haut. Aussitôt que les crasses sont arrivées à la surface, on retire le bouchon, et conséquemment, il ne rentre dans le moule que du métal propre. Pour les pièces de plus de vingt-cinq kgrs., le métal est versé à l'aide d'une grande cuiller percée d'un trou dans le fond. On doit donner de grandes facilités pour l'échappement des gaz. L'aluminium et le cuivre ne se volatilisant qu'à très haute température, leurs alliages peuvent être refondus sans changement appréciable dans la résistance ou la qualité du métal. Dans le cas de coulage dans des moules en fer, le moule peut être noirci avec un mélange de plombagine, d'argile et d'huile de lard.

Si le bronze d'aluminium est simplement fait par le mé-

lange des constituants, il est sec, et il n'acquiert ses meilleures qualités qu'après avoir été refondu trois ou quatre fois. Il atteint alors un maximum, et après il peut être refondu sans changement sensible. Les pièces minces s'obtiennent très bien ; mais si une pièce mince devient subitement épaisse, il faut ménager à la place épaissie de petits rejetons, dans lesquels le métal peut couler et d'où il peut rentrer dans la pièce pendant le refroidissement et la contraction, évitant ainsi, dans la partie épaisse, les cavités dues à la contraction.

§ **79.** — *Méthode électrique de Cowles.* — Les alliages d'aluminium sont préparés par la *Cowles Electrical Smelting Company* dans un four électrique représenté en section verticale dans la fig. 12 (1). « Il consiste en une cavité oblongue de

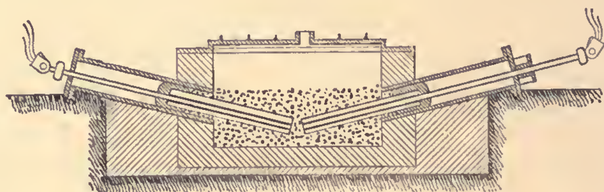


Fig. 12.

1 m. 52 de longueur, 1 m. 60 de profondeur et 0 m. 51 de largeur. Il est construit au-dessous du niveau du sol et garni de briques réfractaires. Aux deux extrémités, sont des tubes en fonte, inclinés pour favoriser le maniement des électrodes. Aux extrémités de ces tubes, sont des couvercles munis de garnitures à travers lesquelles passent les électrodes. Sur les couvercles sont vissés des blocs de bois environnant les garnitures. Chacune des électrodes porte un écrou à travers lequel passe une vis ayant à son extrémité exté-

(1) *Mémoire* lu par M. W. Robey à la Société des Ingénieurs du Cleveland. Décembre 1888.

rieure une poignée en T, pendant que son extrémité inférieure reste contre le bloc de bois. La rotation de ce système donne à l'électrode un mouvement d'entrée ou de sortie. Le haut de la construction en briques est recouvert avec des plaques de fer, et un couvercle de fer, comme le montre la figure, est placé au-dessus de l'ouverture du four ; dans ce couvercle, est un trou pour permettre l'échappement des gaz. Les électrodes consistent en baguettes de charbon de 57 mm. de diamètre ; 9 sont attachées ensemble et réunies à une électrode commune. Pour cela, on coule du métal autour des extrémités des charbons et de l'électrode commune, de façon à former un conducteur en contact parfait avec toutes les parties jointes. Le métal employé est choisi eu égard à l'alliage particulier devant être traité dans le four; quoique, dans le cas actuel, il ne soit pas soumis à une chaleur très intense, on a trouvé qu'il exerçait une légère influence sur le produit du four.

« Nous avons donc un four couvert muni à ses extrémités de deux électrodes capables d'être facilement déplacées. On se sert du four de la façon suivante. Les deux électrodes sont mises en communication avec la dynamo, le câble allant au pôle positif envoyant le courant dans l'électrode gauche, d'où il traverse la charge ; rencontrant une résistance, il y produit de la chaleur, puis par l'électrode droite, il arrive au câble allant au pôle négatif de la dynamo. La résistance est due aux particules de charbon qui sont dans la masse. Ainsi le courant agit indépendamment de la structure du four lui-même, agissant simplement sur la charge immédiatement en contact avec le carbone, ce qui donne lieu à la production de chaleur. La chaleur développée est énorme; quoique le charbon de bois soit réputé comme étant un corps non conducteur, le plus convenable pour faire une doublure protectrice,

l'intensité de la chaleur le convertit en peu de temps en graphite ; il perd ainsi ses propriétés non conductrices. Le renouvellement fréquent du charbon de bois devient coûteux ; on surmonte la difficulté en plongeant le charbon de bois partiellement transformé en graphite dans de l'eau de chaux : la chaux rend encore le charbon de bois suffisamment non-conducteur.

« Lorsque l'on charge le four à froid, on met du charbon de bois dans le fond, et on le comprime fortement de façon à former une première couche d'épaisseur suffisante. Les électrodes sont amenées presque au contact dans le four, et la charge est alors placée au centre du four de façon à environner les extrémités des électrodes. La charge pour l'alliage de cuivre consiste en 136 kg. de matière ; un quart est constitué par du minerai d'aluminium concassé, une grande partie de ce minerai passant dans le laitier formé tout d'abord sous l'action de la chaleur ; il y a environ 4 0/0 de carbone, et le reste est du cuivre granulé.

« Le minerai employé est quelquefois le *corindon*, appelé aussi *saphir* et *rubis*. Les cristaux ternes sont désignés sous le nom de *corindon*, et les variétés grises et noires sous le nom d'*émeri*. C'est essentiellement de l'alumine Al^2O^3. Actuellement le minerai employé en Angleterre est la *bauxite* ; la composition d'un échantillon est la suivante :

Silice	2,8
Alumine	57,4
Oxyde ferrique	25,5
Chaux	0,2
Oxyde titanique	3,1
Eau et matières volatiles	11,0

« Quoique d'un prix moindre que le corindon cette matière convient très bien. Pour que des portions de la matière ne

soient pas trop distantes des électrodes, on empêche la charge de s'étendre latéralement par deux plaques de tôle maintenues à une certaine distance et placées de chaque côté des électrodes. Le mélange est placé entre elles, et on achève de remplir avec du charbon de bois ; puis on retire les tôles, le haut de la charge est couvert et les parties vides du four sont garnies de charbon de bois ; on en met suffisamment pour dépasser de quelques centimètres la charge et les électrodes. Le couvercle de fer est alors luté avec de la terre réfractaire. On donne d'abord un courant de 2.000 à 3.000 ampères, et la résistance diminue au fur et à mesure que la masse fond. Les électrodes sont alors éloignées l'une de l'autre, la vitesse de la machine est augmentée, et un courant de 500 ampères traverse la masse jusqu'à ce que tout soit fondu. Une opération dure une heure trois quarts. Il est établi que le cuivre et l'aluminium s'unissent tous deux à l'état gazeux, et la Compagnie estime que de cette manière, on a une union intime entre les constituants de l'alliage ; l'homogénéité et la résistance de l'alliage obtenu sont supérieures à celles d'un alliage fait par toute autre méthode. »

Les alliages riches préparés dans le four électrique décrit ci-dessus sont employés pour faire le bronze d'aluminium, le laiton d'aluminium ; on les fond avec du cuivre, du zinc, de l'étain, etc., dans un creuset placé dans un fourneau ordinaire, au lieu d'utiliser de l'aluminium métallique pur. Par ce procédé, on obtient des alliages plus parfaits et plus uniformes.

Laiton d'aluminium.

§ **80**. — Cet alliage s'obtient en ajoutant du zinc à du bronze d'aluminium, ou en fondant ensemble des proportions variables de laiton ordinaire et de bronze d'aluminium. Plus

il y a de bronze d'aluminium, plus dur et plus fort devient le laiton. Les alliages contenant le cuivre, le zinc et l'aluminium dans les proportions suivantes :

Cuivre de	67 à 71
Zinc	31,75 à 25,5
Aluminium.	1,25 à 3,5

ont une résistance à la tension variant de 20 à 47 kg. par mm.². Les alliages renfermant de 56 à 57 0/0 de cuivre et de 40 à 42 0/0 de zinc ont une résistance de près de 49 kg. M. Robey dit que le laiton d'aluminium est composé de 1/3 de bronze d'aluminium à 10 0/0, 1/3 de cuivre et 1/3 de zinc.

Le laiton d'aluminium est d'aspect grenu, homogène et tenace ; il a une résistance à la tension utilisable et une grande résistance élastique. Quant à la résistance à un effort transversal, une barre de laiton n° 2 de Cowles, de 25 mm. en carré, placée sur des supports distants de 0 m. 305, se rompt sous une charge de 3660 kg. ; l'écart avec 2235 kg. est de 1 mm., et la déformation permanente de 0,25 mm. Le laiton d'aluminium se forge à chaud, et à cause de ses qualités spéciales dans le coulage, de son poids spécifique peu élevé, de sa résistance, de sa ténacité et de sa rigidité, il est très propre à la construction des hélices, des gouvernails, des pompes, des soupapes, des pignons, etc., ainsi qu'aux travaux hydrauliques. Pour les coulées, les mêmes règles que pour le bronze d'aluminium s'appliquent au laiton d'aluminium. Les qualités de travail de cet alliage, lorsqu'il y a beaucoup d'aluminium, sont semblables à celles du bronze ; elles dépendent aussi beaucoup de la quantité de zinc contenu dans le laiton : plus il y a de zinc, plus dur est l'alliage, et plus court est le copeau qui se détache sous l'action de l'outil.

Métal d'Hercule. — C'est une variété bon marché du laiton d'aluminium, faite par la Compagnie Cowles. Il se coule bien, et étant très dur et très fort, il se travaille bien sous l'outil. Malléable à chaud, il convient bien pour les pièces robustes. Sa résistance à la tension varie de 47 à 63 kg. par mm.², avec un allongement de 10 à 30 0/0 suivant les proportions des constituants. Il contient jusqu'à 7,5 0/0 de fer, la proportion de zinc est plus grande que dans le laiton ordinaire.

§ **81**.— Les essais suivants ont été faits sur l'ordre du ministère de la Marine des Etats-Unis, et le tableau de la page 230 montre les résultats favorables obtenus avec le bronze et le laiton d'aluminium comparativement à ceux donnés par le métal à canons (1).

On fait des alliages d'aluminium contenant plus ou moins de nickel, ils sont très ductiles et ont une ténacité de 52 à 69 kg. par mm.². Les essais effectués par Kircaldy sur des alliages semblables faits par la « Crown Metal Company », ont donné des résultats variant de 61 à 66 kg. par mm.². D'après M. Webster, deux alliages sont utilisés par cette compagnie pour préparer le bronze ; l'alliage d'aluminium est désigné par A et celui de nickel par B. L'alliage A contient 15 parties d'aluminium et 85 d'étain ; l'alliage B, 17 de nickel, 17 de cuivre et 66 d'étain. Les métaux sont fondus d'après la méthode usuelle en employant un flux, sous une couche de sel commun et de chlorure de potassium. Les deux alliages sont alors fondus ensemble avec du cuivre. Il a été reconnu que le bronze est d'autant plus dur et de meilleure qualité qu'il contient plus des deux alliages, et inversement. Les proportions recommandées sont les suivantes : 88 parties

(1) Mémoire de M. Dagger. *Brit. Ass.*, 1889.

ESSAIS DE BRONZE ET DE LAITON D'ALUMINIUM *(Ministère de la Marine des Etats-Unis).*

Marques ou numéros.	Composition approchée. Cu.	Al.	Si.	Zn.	Sn.	Longueur entre les supports (en mm.).	Diamètre (en mm.).	Section en mm.².	Résistance à la tension (kil. par mm.²).	Limite d'élasticité (kil. par mm.²).	Allongement p. 100 sur 380 mm.	Réduction de la section p. 100.	Diamètre après rupture (en mm.).	
Bronze ou laiton d'aluminium. 1 C	91,5	7,75	0,75	»	»	381	47,6	1780	95,7	28,4	23,20	30,7	39,6	Coulage en coquilles.
7 C	88,66	10,0	1,33	»	»	id.	47,6	1780	104,0	42,5	3,80	7,8	45,7	
9 C	91,5	7,75	0,75	»	»	id.	47,6	1780	106,5	37,8	13,00	21,62	42,2	
10 C	90,0	9,0	1,0	»	»	id.	47,6	1780	114,7	52,0	2,40	5,78	46,2	
11 C	63,0	3,5	0,33	33,33	»	id.	47,6	1780	129,5	94,5 à 115	2,33	9,88	45,2	
11 D	63,0	3,33	0,33	33,33	»	id.	48,25	1829	111,0	86,7	0,40	4,33	47,2	
13 C	92,0	7,5	0,5	»	»	id.	47,6	1780	93,2	30,0	15,1	23,59	41,7	
9 D	91,5	7,75	0,75	»	»	id.	48,25	1829	83,5	30,0	6,2	15,50	44,4	Coulage en sable sec.
10 D	90,0	9	1,0	»	»	id.	48,0	1810	110,1	52,0	1,33	3,30	47,2	
13 D	92,0	7,5	0,5	»	»	id.	49,0	1886	73,5	26,8	7,80	19,19	43,9	
1	88,0	»	»	2,0	10,0	id.	47,6	1780	28,4	15,8	2,50	4,70	46,5	Coulage en sable vert.
2	88.0	»	»	2,0	10,0	id.	47,6	1780	38,8	17,3	8,20	6,80	46,0	
3	88,0	»	»	2,0	10,0	id.	47,6	1780	35,5	17,3	5,80	10,89	45,0	
4	88,0	»	»	2,0	10,0	id.	47,75	1791	36,3	20,5	4,00	10,36	45,2	
5	88,0	»	»	2,0	10,0	id.	47,75	1791	32,4	20,5	2,33	6,30	46,2	
6	88,0	»	»	2,0	10,0	id.	47,75	1791	27,4	20,5	3,70	7,30	46,0	

Essais de dureté de grandes barres (Bronze et laiton d'aluminium).

Marques.	Dureté dans l'extrémité.	Dureté du corps.
1 C	9,39	13,85
7 C	14,12	14,26
9 C	11,18	13,59
11 C	14,69	10,60
10 D	17,08	60,07

Dureté du bronze des ateliers de la Marine.

Marques.	Dureté dans l'extrémité.	Dureté du corps.
N° 1	3,33	3,33
N° 2	3,67	6,56

Le bronze des ateliers de la Marine était fourni par le Gouvernement, et coulé avec soin dans les ateliers de New-York, sous la surveillance d'un officier.

WILLIAM H. HARRIS,
Maître mécanicien, U.S.N.

de cuivre, 8 de chacun des alliages A et B. Le cuivre est d'abord fondu, puis on ajoute les alliages A et B ; le mélange est alors agité avec une tige de bois ou d'argile (on doit rejeter le fer), jusqu'à ce que la masse soit homogène ; on s'en assure par une prise d'essai. Une seconde qualité d'alliage, meilleur marché que la précédente, est composée de 92 parties de cuivre et 4 de chacun des deux alliages A et B.

Un grand obstacle à l'emploi des bronzes d'aluminium est la difficulté que l'on rencontre pour les braser et les souder. La « Cowles Electrice Smelting Company » recommande les procédés suivants.

§ **82.** — *Brasure.* — Le bronze d'aluminium se brase aussi bien qu'aucun autre en employant 0,25 de soudure de laiton (50 0/0 de cuivre et 50 0/0 de zinc) et 0,75 de borax.

§ **83.** — *Soudure.* — Pour souder le bronze d'aluminium avec une soudure tendre, les parties destinées à être réunies doivent être bien propres et exemptes de graisse. Elles sont d'abord mises dans une solution concentrée de sulfate de cuivre, et on installe dans le bain une tige de fer doux en contact avec les extrémités devant être soudées. Après quelques instants, la surface du métal sera cuivrée. On retire du bain, on lave à l'eau et on polit les surfaces. Ces surfaces peuvent alors être étamées, de la manière ordinaire, avec le chlorure de zinc et la soudure tendre.

Mierzinski dit que Hulot emploie un alliage de soudure ordinaire (50 parties de plomb et 50 d'étain), avec 12,5, 25 et 50 0/0 d'amalgame de zinc.

Bronzes chinois et japonais.

§ **84.** — Les Chinois et les Japonais ont atteint une grande

perfection dans la fabrication des bronzes pour œuvres d'art. Le premier alliage est appelé *shakudo* et contient :

Cuivre	94,61	95,77
Argent	1,55	0,08
Or	3,73	4,15
Plomb	0,11	»

Ces métaux furent employés pour les grands travaux d'art, tels que les statues colossales. Le professeur Roberts-Austen dit que la quantité d'or est très variable ; quelques spécimens qu'il a analysés contenaient 1,5 0/0 d'or.

Un autre alliage est le *shibu-ichi*, dont on a fait beaucoup de variétés. Les métaux précieux étaient employés pour produire un effet donné.

Cuivre.	67,31	51,05
Argent	32,17	48,83
Or	traces	0,12
Fer.	0,52	»

L'or permet à l'alliage de prendre une belle patine de couleur pourpre sous l'action de certaines solutions acides, pendant que le *shibu-ichi* possède une teinte gris d'argent, devenant très belle sous l'influence de l'atmosphère. Il y a trois solutions généralement en usage ; leurs compositions respectives sont les suivantes ; on les emploie bouillantes :

	I	II	III
Vert de gris.	28 gr 47	5 gr 655	14 gr 300
Sulfate de cuivre . .	18 98	28 405	35 100
Nitre	»	5 655	»
Sel commun	»	9 49	»
Soufre	»	15 145	»
Eau.	4 lit 543	»	4 lit 543
Vinaigre	»	4 lit 543	0 lit 142

« La plus employée est le n° I. Si l'on fait bouillir le n° III, la solution de cuivre pur tourne au rouge brun, et le *shakudo*, qui contient de l'or, devient pourpre. Le cuivre contenant une petite quantité d'antimoine donne un résultat tout autre. Mais le cuivre produit au Japon est souvent le résultat de la fusion de minerais complexes, et les méthodes de purification ne sont pas aussi parfaites que dans l'Occident. Le résultat est le suivant : ce qu'au Japon les ouvriers en métaux appellent *antimoine* (on en trouve dans la variété de cuivre que l'on nomme *kuromi*) est un mélange complexe d'étain, de

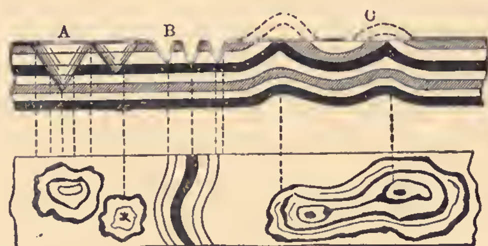


Fig. 13.

cobalt et d'autres métaux ; l'opérateur a ainsi toute une série de matériaux, qui lui permettent d'avoir un effet déterminé. Chaque teinte particulière est due à de très petites quantités d'une impureté métallique. Une autre matière appelée *mokumè*, qui signifie grain du bois, est très rare. Elle peut être imitée en soudant ensemble, les unes sur les autres, des lames minces de différents métaux ou alliages (1) (fig. 13). On perce des trous coniques A de profondeurs différentes, ou bien on fait des entailles longitudinales B en forme de V ; puis on martelle la masse jusqu'à ce que les trous disparaissent ; les

(1) Roberts-Austen, *Journ. Soc. of Arts*, 26 oct. 1888.

trous seront alors remplacés par des cercles irréguliers, et les entailles par des lignes. Les proéminences telles que C peuvent être produites en frappant sous la pièce avec des instruments lourds ; elles sont ensuite limées jusqu'au niveau de la lame. Les alliages ainsi préparés montrent à leur surface des dessins très compliqués, et on produit un effet remarquable si les couleurs de l'alliage sont ensuite développées par des moyens convenables.

« Les ouvriers en métaux de l'Orient mélangeaient souvent les métaux et les alliages de différentes couleurs en les versant ensemble à une température voisine du point de solidification du plus infusible des métaux et alliages associés. De cette façon, en versant le plus fusible (alliage gris cuivre-argent) dans le cuivre fondu qui se trouve juste à son point de solidification, les métaux s'unissent, mais ne se mélangent pas complètement ; on obtient un alliage truité. »

Quelques bronzes chinois et japonais ont une couleur foncée, et dans quelques cas ils possèdent une très belle patine noir mat.

Les analyses suivantes sont dues à H. Morin :

	I	II	III	IV	V
Etain	4,36	2,64	3,27	3,23	5,22
Cuivre	82,72	82,90	81,30	83.09	72.09
Plomb	9,90	10,46	11,05	11,50	20,31
Fer	0,55	0,64	0,67	0,22	1.73
Zinc	1,86	2,74	3,71	0,50	0,65
Arsenic	»	0,25	»	0,25	»

Il a été montré que la couleur noire particulière appartient au bronze, et n'est pas due à une couche superficielle de sulfure. Elle augmente en intensité avec la proportion de plomb présent. La présence du zinc atténue plutôt la couleur.

Morin a cherché à imiter ces bronzes (1) :

	I	II
Etain	5,5	5
Cuivre	72,5	83
Plomb	20,0	10
Fer	1.5	»
Zinc	0,6	2

Le n° I a donné un alliage excessivement difficile à travailler, et sans fournir quelques résultats supérieurs quant à la couleur, les pièces coulées étaient extrêmement cassantes. Le n° II, au contraire, est un alliage ressemblant exactement au bronze chinois. La cassure et son poli sont identiques, et chauffé dans un moufle, il prend vite la couleur particulière noir mat, tant admirée dans les spécimens chinois. Jusqu'ici, il a été difficile, sinon impossible, d'obtenir cette coloration foncée avec les bronzes modernes ; la surface s'écaille s'ils sont chauffés dans les mêmes conditions.

Christofle et Bouillet confirment les résultats des analyses de Morin, mais ils montrent que la présence du plomb n'est nullement nécessaire pour la production d'une belle patine noire. Par des procédés d'oxydation spéciaux, ils ont obtenu successivement sur du cuivre pur une patine brune, jaune orange, rouge et noire ; ils pensent qu'il se produit de l'oxyde cuivreux sous deux états moléculaires en même temps que du sulfure de cuivre.

Deux bronzes japonais, ayant la couleur du laiton, analysés

(1) La soudure employée par le professeur Roberts-Austen contient :

Argent	55,5
Cuivre	18,5
Zinc	26,0

(2) *Comptes rendus*, t. 78, p. 811.

par Kalischer (*Dingler's polyt. J.*, t. 325, p. 93), contenaient :

	I	II
Etain	4,48	4,36
Cuivre	76,64	76,53
Plomb	11,88	12,20
Zinc	6,57	6,58
Fer	0,43	0,33

Des bronzes japonais analysés par Maumené (*Comptes rendus*, t. 80, p. 1009) ont donné les résultats suivants :

	I	II	III	IV
Cuivre	86,46	80,91	88,70	92,07
Etain	1,94	7,55	2,58	1,04
Antimoine	1,61	0,44	0,10	»
Plomb	5,68	5,33	3,54	»
Zinc	3,26	3,08	3,71	2,65
Fer	0,69	1,43	1,07	3,64
Silice	0,10	0,16	0,09	0,04
Soufre	»	0,31	»	»
Résidus	0,26	0,79	0,21	0,56

Ces alliages montraient une texture dure et granulée, avec de petites cavités à l'intérieur ; ils étaient sains à l'extérieur. En présence de beaucoup d'antimoine, leur couleur devient violette ; elle est rouge, s'il y a beaucoup de fer. Les échantillons avaient de 5 à 12 millimètres d'épaisseur. Les alliages n'étaient probablement pas faits en fondant les métaux ensemble, mais préparés directement en partant des minerais.

Métaux blancs pour coussinets.

§ **85**. — Les métaux entrant dans la composition de ces alliages sont le cuivre, l'étain, l'antimoine, le plomb et le

zinc ; mais on en emploie rarement plus de trois pour chaque alliage. Dans les machines marchant à grande vitesse, ou sous forte pression, les surfaces des coussinets sont soumises à un frottement considérable ; et dans beaucoup de cas, le but de l'ingénieur est plutôt de réduire le frottement à son minimum que d'imaginer un coussinet qui résisterait à une grande pression sans usure. Actuellement, il est courant de faire le bâti en laiton ou en bronze, et de garnir la surface du coussinet avec un renfort en métal blanc relativement mou. Un grand avantage du métal blanc est d'avoir un point de fusion peu élevé, de telle sorte qu'un coussinet hors de service peut être facilement remplacé. Le métal blanc est généralement fondu dans une cuiller ordinaire, et lorsque le palier est nettoyé, sec et bruni à la craie, on y verse le métal fondu. On doit prendre soin que le métal ne s'élève pas à une trop haute température ; non seulement il peut y avoir oxydation des constituants, mais aussi volatilisation, de telle façon que la composition est considérablement altérée. Il faut absolument éviter qu'il ne passe de l'écume en même temps que le métal. Le palier devra être chaud, pour que le métal ne se refroidisse pas trop vite à la surface d'usure. Les coussinets en métal blanc sont indispensables pour certains usages ; par exemple, lorsque le corps de l'arbre reposant dans le coussinet ne tourne pas doucement.

Si le coussinet est fait de métal dur, il y a une friction considérable ; il y a lutte entre l'axe et le coussinet, le plus mou des deux étant d'abord usé ; l'axe s'écarte considérablement de sa position normale.

Par l'emploi d'un *garnissage* fait de métal mou, l'axe n'est pas usé, et s'adapte lui-même à la forme du coussinet ; il tourne avec moins de frottement, et comme il a déjà été indiqué, ce garnissage est facilement remplacé lorsqu'il est trop

usé. Cette tendance du métal blanc à réduire le frottement a fait donner à ces alliages le nom d'*anti-friction*. Les points importants pour un coussinet sont les suivants : 1° il ne doit pas couper le palier ; 2° il doit être de longue durée ; 3° il ne doit pas s'échauffer par frottement ; 4° il doit être suffisamment mou pour s'adapter à la surface du frottement ; 5° le métal doit être facilement fondu et coulé. Les coussinets en métal rouge se distinguent par une grande dureté et un grand pouvoir de résistance ; ils sont employés pour les grandes vitesses et les fortes pressions.

§ **86.** — *Métal anti-friction de Babbit.* — Tout d'abord très employé, il est maintenant remplacé dans beaucoup de cas par d'autres alliages. M. Babbit recommandait de fondre ensemble 4 parties de cuivre, 8 parties d'antimoine et 24 parties d'étain. Pour chaque partie en plus de cet alliage, il ajoutait 2 parties de plus d'étain. Depuis l'apparition de ce métal, beaucoup de mélanges différents ont été vendus sous le même nom, une certaine quantité d'étain étant remplacée par le zinc et le plomb ; l'un d'eux contenait 2 parties d'antimoine, 2 parties d'étain, 20 parties de plomb. Le coussinet devant être garni avec du métal de Babbit est lavé à l'alcool et saupoudré avec du sel ammoniac ; les surfaces qui doivent rester intactes sont couvertes avec de l'argile. Le coussinet est alors suffisamment chauffé pour volatiliser une partie du sel ammoniac ; puis il est étamé.

§ **87.** — Un alliage de métal blanc a été récemment introduit, sous le titre fantaisiste de *métal magnolia* ; il a été préconisé pour les travaux de la marine et de chemins de fer. Le professeur Smith du collège de Mason, à Birmingham, a soumis ce métal à beaucoup d'essais et dit « qu'il est de beaucoup supérieur au métal de Babbit ou au métal à canons. Il y a moins de frottement, la température du coussinet s'élève

moins, il faut moins de graissage, il a une très grande durée. Cette caractéristique de la durée est très importante. Il ajoute que plus longtemps le métal magnolia a été employé et plus sévères ont été les essais, meilleure est devenue sa condition. L'élévation de la température du coussinet au-dessus de celle de l'air ambiant est extrêmement faible. En résumé, le métal magnolia est excellent pour les coussinets; ses bonnes qualités apparaissent plus particulièrement quand il est soumis à de fortes pressions, ces pressions étant telles que d'autres métaux ne pourraient pas les supporter sans s'enflammer ou fondre ; dans les mêmes circonstances, le métal magnolia peut être considéré comme restant froid, ou tout au moins à une température qui ne modifie pas les conditions d'un bon travail ».

Une analyse de ce métal, faite par M. Dean dans le laboratoire de l'auteur, a donné approximativement :

Plomb	78
Antimoine	21
Fer	1

§ **88**. — Le tableau suivant donne la composition de différents alliages blancs pour coussinets :

	Etain	Cuivre	Antimoine	Plomb	Zinc	Fer
Métal de Kingston avec 6 p. 100 de mercure.	88	6	»	»	»	»
Métal de Fenton pour boîtes à graisse des locomotives et des wagons.	14,5	5,5	»	»	80	»
Alliages de Stephenson	31	19	»	»	19	31
Boîtes pour hélices	14	57	»	»	29	»
Métal de Deurance pour locomotives	33,3	22,2	44,4	»	»	»
Alliage de Hoyle pour coussinets de pivots.	46	»	12	42	»	»
Alliage de Jacoby.	85	5	10	»	»	»
Paliers pour hélices.	26	5	»	»	69	»
Coussinets très durs	12	4	82	»	2	»
Métal anti-friction.	14	6	»	»	80	»
Métal pour coussinets.	81	5	»	14	»	»
id.	81	5	14	»	»	»
id.	»	10	10	80	»	»
id.	»	12	»	88	»	»
Coussinets pour travail léger. . .	85	5	10	»	»	»
id. . . .	73	9	18	»	»	»
id. . . .	76	7	17	»	»	»
Coussinets pour gros travail. . .	90	2	8	»	»	»
id. . . .	87	6	7	»	»	»
Coussinets pour travail ordinaire	2	8	2	»	88	»
Alliage mou pour paliers des tourillons	»	»	15	85	»	»
Alliage de Vaucher pour garnissage des paliers	18	»	2,5	4,5	75	»

Fusion et coulage du bronze.

§ **89**. — Le bronze est préparé dans des creusets ou dans des fourneaux à réverbère, suivant la quantité nécessaire à la coulée. La règle générale est de fondre le cuivre d'abord, puis d'ajouter les débris, et lorsqu'ils ont été complètement mélangés, d'y mettre l'étain, ou l'étain et le zinc, suivant les cas, ces métaux ayant été préalablement chauffés autant que possible sans les fondre. L'addition d'étain refroidit le cuivre, et comme il est convenable de conserver toute la masse fondue et mélangée aussi promptement que possible, afin d'éviter les pertes par oxydation et volatilisation, le feu doit être conservé très vif pendant la fabrication de l'alliage.

Le bronze se contracte par solidification, comme les autres alliages de cuivre, mais cette contraction dépend de la composition du bronze et de la température à laquelle il est coulé ; elle varie de 1/30 à 1/77.

Les difficultés relatives au coulage du bronze sont les mêmes que celles déjà décrites à propos du laiton. L'étain ayant plus d'affinité pour l'oxygène que le cuivre, en refondant le bronze, l'alliage devient un peu plus riche en cuivre, et on doit alors ajouter un léger excès d'étain pour suppléer la perte. Les métaux doivent, autant que possible, être à l'abri de l'air pendant la fusion ; on couvre la surface avec du charbon de bois ou de l'anthracite en poudre. Autrement, les oxydes se dissoudraient dans l'alliage fondu et modifieraient sa résistance et sa ténacité. Bien plus, le bronze a la propriété d'absorber l'air et les autres gaz quand il est à l'état fondu, et de les dégager pendant la solidification. Si les pièces sont épaisses, ou si le métal fondu est rapidement refroidi, les gaz absorbés ne peuvent pas s'échapper de l'intérieur, et il se produit de nombreuses soufflures. Les gaz sont plus parfaitement éliminés du métal fondu, si on produit une agitation mécanique avec une tige convenable ; si elle est en bois ou en matière carbonifère, quelques oxydes dissous sont décomposés, l'oxygène se combine avec le charbon et s'échappe à l'état gazeux. Les autres impuretés montent aussi plus facilement à la surface par suite de l'agitation, et forment une écume. C'est probablement pour des raisons analogues que le phosphore, le manganèse et d'autres agents réducteurs, ajoutés en petite quantité, sont si efficaces en produisant des pièces saines.

La perte de métal pendant la fusion, comme la qualité du produit, sont influencées par la construction et la disposition du four. Dans un four à réverbère, on doit maintenir une

atmosphère neutre ou réductrice, de façon à éviter toute oxydation, mais le point principal est d'obtenir les métaux fondus et mélangés aussi vite que possible ; car, si le bronze est maintenu fondu pendant un temps considérable, un alliage blanc riche en étain se sépare de la masse principale, comme cela a déjà été mentionné.

CHAPITRE V

MAILLECHORT.

§ **90**. — Les alliages fabriqués en grande quantité sous ce nom sont essentiellement composés de nickel, cuivre et zinc. Beaucoup de termes sont employés pour désigner la même substance : *nickel-argent*, *argentan*, *packfong*, *cuivre blanc*, *nouvel argent*, *maillechort*. Quelques fabricants emploient aussi des noms de fantaisie pour désigner des alliages contenant différentes proportions des métaux constituants, qu'ils considèrent comme préférables pour produire un effet donné : une bonne couleur blanche est souvent désirée. Ainsi l'*argent Nevada*, l'*argent de Virginie*, l'*argent Potosi*, le *silveroïde*, la *silvérite*, l'*électrum*, l'*alfénide*, l'*argyroïde*, etc., sont simplement du maillechort ; mais, dans quelques cas, un peu de cobalt est aussi bien présent que le nickel, et quelques fabricants ajoutent une petite quantité de fer ou de manganèse. On met quelquefois 1 à 3 0/0 de plomb pour favoriser le travail de coulage.

Le maillechort est précieux à cause des avantages suivants : couleur blanche, brillant, dureté, ténacité, malléabilité, ductilité, résistance à l'action de certains agents chimiques. Préparé avec soin, il se martelle et se lamine bien ; mais il est bon que les métaux employés dans la fabrication soient aussi purs que possible ; de petites quantités d'impuretés, comme l'arsenic, modifient sérieusement ses qualités de travail. Le cobalt accompagne fréquemment le nickel dans les

minerais, se réduit en même temps, et s'allie facilement avec lui ; mais comme les propriétés physiques et chimiques de ces deux métaux sont à peu près les mêmes, il n'y a aucun inconvénient à laisser le cobalt.

Pour quelques applications, le fer a un effet utile sur le maillechort. Il le rend plus blanc, plus tenace et plus élastique, mais plus dur. D'après quelques essais faits par l'auteur 1 à 2 0/0 de fer n'exercent aucune influence fâcheuse, sauf pour la dureté, et la couleur d'un alliage contenant 12 0/0 de nickel est la même que celle d'un alliage à 16 0/0, dans lequel il n'y a pas de fer, la quantité de zinc employée étant la même dans chaque cas. Toutes les variétés commerciales de maillechort contiennent du fer, spécialement si on emploie concurremment du métal neuf et des débris, le fer provenant probablement des limes et autres outils utilisés dans la fabrication des objets. Le packfong, alliage venant de la Chine, contient 3 0/0 de fer. Gersdorff dit que le fer est difficile à allier aux autres constituants et lorsque ce métal est ajouté au maillechort fondu, il ne s'y combine pas, et forme à la surface du bain fondu une couche composée de cuivre, de nickel et de fer. Le fer doit être préalablement fondu avec une portion du cuivre, sous une couche de poudre de charbon de bois, dans un fourneau à vent, et l'alliage formé est alors employé pour le mélanger au nickel, au zinc et au cuivre restant. Mais ceci est inutile, comme le prouvent les expériences de l'auteur ; du cuivre, du nickel et du fil de fer de qualité supérieure ont été chauffés ensemble dans un creuset ouvert, on a ajouté du zinc à la masse fondue et agité vigoureusement. Les métaux étaient parfaitement alliés ensemble, et il n'a été observé aucune séparation de fer lorsque le lingot a été laminé en feuilles minces et très bien poli.

L'effet de l'étain lorsqu'il est allié au maillechort dans la proportion de 2 à 4 0/0 est beaucoup plus désastreux que celui du fer, les lames étant cassantes à la sortie du laminoir, et le métal étant franchement jaune après avoir été coulé et poli. De ses expériences, l'auteur conclut qu'il n'y a aucun avantage à ajouter de l'étain au maillechort, puisqu'il modifie la couleur, durcit l'alliage et le rend cassant. Bien plus, l'étain est un métal coûteux, et de meilleurs résultats sont obtenus avec le fer et le zinc. Un alliage, breveté il y a plus de cinquante ans, avait la composition suivante :

Cuivre	55
Zinc	17
Nickel	23
Fer	3
Étain	2

L'argent, dans certaines proportions, ne modifie pas la malléabilité du maillechort, mais il n'y a pas d'avantage particulier à l'employer. M. Ruolz, il y a plusieurs années, a fait une série d'alliages pour la joaillerie ayant la composition suivante :

Argent	20 à 30
Nickel	25 à 30
Cuivre	35 à 50

En variant les proportions, les alliages peuvent ressembler beaucoup à l'argent ; mais le nickel et le cuivre doivent être de bonne qualité ; sans cela, les alliages seront durs, aigres et difficiles à travailler. Il est établi que les Français emploient des alliages semblables pour la joaillerie. Un vieil alliage, appelé nickel-argent américain, contient :

Fer.	1 partie	Manganèse . . .	4 parties
Cobalt . . .	1 —	Nickel	24 —
Argent . . .	2 —	Zinc.	36 —
Étain. . . .	2 —	Cuivre	96 —

Un autre alliage, de composition complexe aussi, ce qui est son principal mérite, a été introduit par M. Toucas ; il contient :

Cuivre . . .	35,8 parties	Plomb . . .	7,1 parties
Nickel . . .	28,7 —	Zinc	7,1 —
Antimoine .	7,1 —	Fer.	7,1 —
Étain	7,1 —		

D'après l'inventeur, il a presque la couleur de l'argent, peut être travaillé comme ce métal, et laminé par les procédés ordinaires ; il est résistant, susceptible d'un beau poli, avec le brillant du platine, et peut être parfaitement bien argenté. Il le recommande pour les objets devant être filés, martelés ou repoussés ; mais pour les pièces coulées et ajustées, il préfère augmenter la proportion de zinc pour augmenter la fluidité du métal.

Les proportions actuelles pour les maillechorts varient considérablement, chaque fabricant ayant ses préférences. Les alliages destinés à être laminés, martelés ou estampés, doivent être tenaces et malléables ; et comme la couleur blanche doit être recherchée, il s'ensuit que le nickel et le zinc doivent être en quantité considérable pour surmonter la couleur rouge du cuivre. Pour les pièces coulées, qui ne seront travaillées qu'à la lime ou au tour, la malléabilité n'est pas de première importance ; il suffit que le métal soit suffisamment dur et tenace, et aussi suffisamment liquide à l'état fondu pour prendre exactement la forme des moules. Une autre considération, qui ne doit pas être ignorée, est le prix ; et comme le nickel

est un métal cher, il y a avantage pour le fabricant à employer autant de zinc que possible, à la condition qu'il conserve à l'alliage les propriétés énumérées ci-dessus.

Les fondeurs, dont la spécialité est la fabrication du maillechort, estiment que le meilleur alliage, quant à la beauté, à l'éclat et aux qualités de travail, est composé de la façon suivante :

Cuivre	46
Nickel	34
Zinc	20

C'est aussi le plus coûteux parmi les alliages similaires, à cause de la grande quantité de nickel présent.

§ 91. — Les alliages les plus employés pour les cuillers, les fourchettes et autres ustensiles de table contiennent de 6 à 22 0/0 de nickel ; les métaux à faible teneur sont un peu meilleurs que le laiton, et ne sont utilisés que pour les articles communs ; les métaux à teneur élevée se rapprochent sensiblement du nickel pur, quant à la blancheur. Afin de déterminer les meilleures proportions à employer pour les alliages contenant respectivement 8, 10, 12, 16 et 20 0/0 de nickel, l'auteur a fait les expériences suivantes. Dans tous les cas, le cuivre et le nickel étaient fondus ensemble sous une couche de charbon de bois et un peu de borax était ajouté comme flux. Le zinc était additionné lorsque les métaux précédents étaient bien fondus, et le tout était bien agité avec une baguette en bois avant de verser le métal dans un moule en fer. On employait les métaux commerciaux ordinaires.

Alliages contenant 8 0/0 *de nickel.*

	I	II	III	IV
Cuivre	58	60	62	64
Nickel	8	8	8	8
Zinc	34	32	30	28

Le n° I était le plus blanc, mais le plus faible ; il se laminait le plus mal. Le n° II était plus blanc que les n°s III et IV ; c'était le plus tenace des quatre ; un lingot de 6 mm. d'épaisseur fut courbé en deux dans un étau sans craquer. Il se laminait bien, mais n'était pas aussi malléable que les n°s III et IV. Les n°s III et IV se laminaient également bien, mais le n° III était le plus blanc.

ALLIAGES CONTENANT ENVIRON 12 0/0 DE NICKEL

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Cuivre....	57,5	57,5	57	55	58,0	57,0	56,0	55,0	56,0	55,0	54,0	53,0
Nickel....	12,5	12,5	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Zinc......	30,0	28,0	31	31	29,5	30,5	31,5	32,5	29,5	30,5	31,5	32,5
Fer.......	»	2,0	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»
Etain.....	»	»	»	»	»	»	»	»	2,0	2,0	2,0	2,0

Pour la malléabilité, ils se rangent dans l'ordre suivant ; le premier étant le plus malléable : IV, III, VI, II, I, V, VII, VIII, IX, X, XI, XII. Le n° IV se lamine non seulement le mieux, sans craquer sur les côtés, mais il est aussi le plus blanc en couleur. Tous les lingots étaient numérotés, et passés successivement sous le laminoir ; ils avaient tous la même épaisseur au début. L'état de chacun d'eux était noté après chaque opération, et leur épaisseur était mesurée. Ils étaient tous recuits ensemble dans les mêmes conditions. Les six premiers (IV, III, VI, II, I, V) se laminaient bien, les n^{os} I et V étant identiques à ce point de vue. Les n°s VII et VIII se laminaient assez bien ; les derniers se laminaient mal : les plaques de métal se fendaient par le milieu avant d'atteindre l'épaisseur requise. Pour ces essais de laminage, l'auteur s'est adressé à M. Wilson et à MM. Kemp et C° à Birmingham. Les résultats ci-dessus peuvent être résumés de la façon sui-

vante : de 30 à 31 0/0 de zinc avec une quantité de cuivre inférieure au double, excellents résultats quant à la malléabilité et à la blancheur ; — 32 0/0 de zinc rendent l'alliage plus cassant et il faut alors recuire plus souvent pendant le laminage ; — 1 à 2 0/0 de fer peuvent être ajoutés sans modifier sérieusement la malléabilité, les alliages étant plus durs et plus blancs ; — l'étain est très mauvais et communique une teinte jaune à l'alliage ; 2 0/0 rendent le travail impossible.

Alliages contenant 16 0/0 *de nickel.*

	I	II	III	IV	V
Cuivre	62	60	58	56	54
Nickel	16	16	16	16	16
Zinc	22	24	26	28	30

Le n° V était le plus blanc et se comportait admirablement bien pendant le laminage. Les nos III et IV, identiques quant à la malléabilité, se laminaient mieux que le n° II et étaient plus blancs. Le n° I était le plus mauvais de la série, aussi bien pour la malléabilité que pour la couleur. Une plus haute proportion de zinc avec 16 0/0 de nickel serait probablement défectueuse. Il est à remarquer ici que les meilleurs résultats étaient obtenus avec 30 0/0 de zinc, comme dans les alliages à 12 0/0 de nickel, mais avec un moindre pourcentage en cuivre.

Alliages contenant 20 0/0 *de nickel.*

	I	II	III	IV	V
Cuivre	60	58	56	54	50
Nickel	20	20	20	20	20
Zinc	20	22	24	26	30

Le n° I se laminait mal ; mais la coulée n'était pas saine ayant été faite trop chaude, ce qui avait pu altérer sa malléa-

bilité. Le n° II se laminait bien, quoique légèrement craquelé sur les côtés. Le n° IV se laminait remarquablement bien avec un mince biseau. Le n° V se comporte sensiblement comme le n° III, mais il est plus blanc en couleur. De ces expériences, il semble que la proportion de 30 0/0 de zinc avec 20 0/0 de nickel, est plutôt trop forte ; probablement qu'avec 28 0/0, on conserverait les avantages de la blancheur et de la malléabilité au plus haut degré.

§ **92**. — Les analyses suivantes faites par l'auteur sur différents articles de maillechorts, provenant de maisons différentes, peuvent être instructives :

	I	II	III
Cuivre	66,0	59,2	55,0
Nickel	8,2	16,0	20,7
Zinc	25,3	23,8	23,3
Fer	0,5	1,0	1,0

Ces trois échantillons proviennent de la même manufacture. Le n° I avait été blanchi à chaud dans une solution d'étain, et l'étain enlevé avant l'analyse.

	I	II	III	IV	V	VI
Cuivre	61,8	47,10	55,40	53,1	55,75	53,3
Zinc	29,6	41,95	38,38	29,98	26,15	24,4
Nickel	8,3	10,95	11.64	16,25	18,10	21,0
Fer	0,3	»	1,58	0,67	traces	1,3

Ces échantillons étaient de qualités diverses faites par une autre manufacture. Le n° VI se travaillait très mal, probablement à cause du fer qui est d'autant plus défectueux que la proportion de nickel est plus grande.

Le tableau suivant donne la composition centésimale de divers maillechorts :

Nos	AUTORITÉ	COMPOSITION CENTÉSIMALE					
		Cuivre	Nickel	Cobalt	Zinc	Fer	Plomb
1	Fyle.	40,4	31,6	»	25,4	2,6	»
2	Frick.	50,0	31,2	»	18,8	»	»
3	Guettier	53,3	26,6	»	20,1	»	»
4	Id.	51,6	26,0	»	22,4	»	»
5	Krupp.	51,6	25,8	»	22,6	»	»
6	Id.	48,5	24,3	»	24,3	»	2,9
7	Hiorns.	56,98	24,3	»	18,72	»	»
8	Guettier	59,0	22,2	»	18,5	»	0,3
9	Id.	55,2	21,4	»	23,4	»	»
10	Hiorns.	59,1	20,2	»	20,4	0,3	»
11	Id.	56,5	20,3	»	23,2	»	»
12	Henry	67,0	19,3	»	13,6	»	»
13	Louyet.	63,34	19,13	»	17,41	»	»
14	D'Arcet	50,0	18,75	»	31,25	»	»
15	Hiorns.	58,0	18,5	»	23,5	»	»
16	Smith	60.0	18,8	3,4	17.8	»	»
17	Krupp.	58,3	19,4	»	19,4	»	2,9
18	Hiorns.	53,1	16,25	»	29,98	0,67	»
19	Id.	55,62	15,72	»	28,66	»	»
20	Id.	56,84	15,62	»	27,24	0,30	»
21	Louyet.	62,4	15,05	»	22,15	trace	»
22	Krupp.	57,8	14,3	»	27,1	»	0,8
23	Hiorns.	58,72	13,85	»	26,43	1,0	»
24	Id.	57,0	13,4	»	27,6	2,0	»
25	Elmer	57,4	13,0	»	26,6	3,0	»
26	Hiorns.	55,4	11,64	»	31,38	1,58	»
27	Louyet.	62,63	10,85	»	26,52	»	»
28	Rochet.	59,1	9,7	»	31,2	»	»
29	Hiorns.	66,0	8,2	»	25,3	0,5	»
30	Krupp.	63	6,0	»	31,0	»	»

Les alliages de ce tableau contenant du plomb ne sont employés que pour le coulage, le plomb les rendant plus fusibles.

Fabrication du maillechort.

§ **93**. — La fabrication du maillechort était autrefois conduite de deux manières différentes : la *méthode allemande* et la *méthode anglaise*.

Procédé allemand. — Le nickel et le zinc devant être utili-

sés pour une quantité donnée de cuivre sont partagés en trois portions égales. Sur le fond d'un creuset de graphite, contenant 10 kgrs. de l'alliage, on place une couche de cuivre, puis au-dessus une couche de nickel et de zinc, puis une couche de cuivre, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le cuivre soit dans le creuset. Un tiers du mélange nickel-zinc est mis de côté pour ajouter plus tard. Le contenu du creuset est alors couvert avec de la poudre de charbon, et les métaux sont fondus dans un four ordinaire. Lorsque l'on suppose que le tout est fondu, on introduit une tige de fer, et on agite vigoureusement. Le reste du nickel et du zinc est alors ajouté par portions, et le tout est bien remué après chaque addition ; on maintient un bon feu pour prévenir la solidification de l'alliage au moment où l'on ajoute du métal frais. Après l'introduction de la dernière portion, on met du zinc dans le creuset pour compenser la perte par volatilisation. Si l'alliage est destiné au laminage, il est recommandé de conserver l'alliage liquide durant quelque temps avant la coulée, la surface étant toujours recouverte de poussière de charbon de bois.

Procédé anglais. — La méthode anglaise diffère essentiellement de la méthode allemande dans la manière de fondre les métaux ensemble ; aucune portion de nickel et de zinc n'est mise de côté, et la quantité totale des métaux (8 1/2 parties de cuivre, 1/2 partie de zinc, 2 à 3 parties de nickel) est fondue en une fois. Les métaux mélangés sont placés dans un creuset au rouge et vivement recouverts avec une épaisse couche de poussière de charbon. Le four est chauffé à son maximum de façon à fondre les métaux aussi rapidement que possible. Après s'être assuré avec une tige de fer que la masse est liquide, on ajoute 1 3/4 à 2 parties d'un alliage préalablement préparé (1 partie de zinc et 1/2 de cuivre). Lorsque cet alliage est fondu, et que toute la masse est bien homogène,

2 parties de zinc sont finalement ajoutées. La masse, étant bien couverte avec du poussier de charbon, est alors chauffée aussi fort que possible, et lorsqu'elle est légèrement fluide, on prélève un échantillon pour faire les essais.

Pendant la fusion, les métaux absorbent toujours de l'oxygène susceptible de produire des soufflures au moment de la coulée. La nature de l'alliage peut être déterminée au moyen d'une prise d'essai ; si cet essai est mauvais, quelques fabricants introduisent un tube en terre réfractaire jusqu'au fond du creuset, versent de la poix, puis retirent le tube. La poix est décomposée ; les gaz réducteurs s'unissent à l'oxygène, et par une agitation vigoureuse avant la coulée, ils sont chassés.

Il est juste de dire que les procédés différents de travail, décrits sous les noms de méthodes allemande et anglaise, ne sont pas actuellement généralement employés, une modification ayant été trouvée plus rapide, économique et donnant également de bons résultats.

Les métaux entrant dans la composition du maillechort ne sont pas généralement employés à l'état libre ; ils sont au préalable amenés à l'état d'alliages binaires. Ainsi le nickel est quelquefois allié au cuivre dans la proportion de 1 de nickel pour 2 de cuivre, ou bien en proportions égales. Le zinc est employé sous la forme de laitons, les alliages communs consistant en poids égaux de cuivre et de zinc, et 1 partie de cuivre pour 2 de zinc.

La nature cristalline du maillechort, quand il est coulé dans des moules en fer, rend le métal quelque peu difficile à être travaillé mécaniquement, surtout s'il y a une grande quantité de nickel ; mais on peut remédier à cet inconvénient par un recuit soigné à une température modérée et un martelage convenable. Bien entendu, certaines proportions donnent de meilleurs résultats que d'autres, comme il a été mon-

tré plus haut par les expériences de l'auteur. La structure cristalline disparaît graduellement au fur et à mesure que le laminage progresse, des recuits nécessaires étant faits ; et lorsque les feuilles ont été laminées suffisamment minces pour les usages ordinaires, la cause d'aigreur a été pratiquement éliminée, de telle sorte que l'alliage peut être travaillé sous n'importe quelle forme.

On a trouvé pratiquement que certaines variétés de maillechort deviennent plus homogènes si on les refond, et peuvent être travaillées avec plus de facilité : mais ceci n'est pas nécessaire si dès le début on a pris les proportions convenables des métaux, en utilisant les alliages cuivre-nickel et cuivre-zinc pour être fondus ensemble au lieu des métaux séparés.

On doit se rappeler que chaque fois que le maillechort est refondu dans un creuset, il se forme une certaine quantité d'oxydes, et qu'il se volatilise plus de zinc que de cuivre ou de nickel, de sorte que les proportions relatives des constituants sont changées. Dans les cas de fusions répétées, il est nécessaire d'ajouter du zinc métallique pour compenser la perte, et il est convenable de ne mettre ce zinc qu'après que la fusion de l'alliage a été bien effectuée. Ceci est une raison de penser que le zinc ainsi ajouté contribue à purifier le métal en s'unissant avec le métal absorbé. Que ceci soit ou ne soit pas, l'auteur a prouvé qu'une telle addition était avantageuse dans beaucoup de cas, sinon dans tous.

Il faut beaucoup de soin, dans la coulée de l'alliage, pour éviter le refroidissement du métal, et comme on a besoin d'une haute température pour maintenir le métal suffisamment liquide, le moule est maintenu fermé, et les ouvertures donnant ordinairement accès à l'air froid sont fermées aussi. Toutes les précautions décrites plus haut à propos du laiton

s'appliquent au maillechort. Mais comme le maillechort se refroidit plus facilement que le laiton, il peut être nécessaire, lorsqu'un moule a été rempli, de réchauffer le métal restant dans le creuset avant de le verser dans un second moule.

Les moules employés pour le maillechort sont de même forme que ceux décrits pour le laiton ; ils en diffèrent par les dimensions. Les lingots destinés au laminage ont 0 m. 40 à 0 m. 45 de longueur, 0 m. 10 à 0 m. 13 de largeur et 25 à 32 mm. d'épaisseur. Ceux destinés au tréfilage ont 1 m. 40 à 1 m. 50 de longueur, 0 m. 08 de largeur et 32 mm. d'épaisseur.

Soudures pour maillechort.

§ **94**. — Les soudures dures, employées pour réunir les différentes parties d'un article en maillechort, sont généralement faites des mêmes métaux que ceux qui composent l'alliage devant être soudé ; mais les proportions sont telles que le point de fusion est un peu plus bas. En général, le joint est d'autant plus parfait que le point de fusion de la soudure se rapproche davantage de celui du maillechort, sans cependant l'atteindre. Dans quelques cas, on emploie la soudure à l'argent pour les articles de maillechort ; et la soudure au maillechort est aussi utilisée pour souder les articles de fer et d'acier, à cause de son haut point de fusion et de sa grande ténacité.

La soudure pour maillechort est connue sous différents noms : *soudure argentan*, *arguzoïd*, etc. Elle est rendue plus fusible par addition d'une grande proportion de zinc au cuivre et au nickel. Le mode de fabrication est le même que celui décrit pour la soudure de laiton, et les proportions des composants dépendent de l'alliage destiné à être soudé. Pour les alliages riches en nickel, il faut une soudure plus réfrac-

taire que celle qui est employée pour les alliages bon marché et plus fusibles.

En faisant la soudure argentan, le cuivre et le nickel doivent être fondus d'abord, puis le zinc ajouté à l'état libre ou sous la forme de laiton contenant beaucoup de zinc. L'alliage est alors coulé en lames minces qui sont brisées en morceaux étant encore chaudes, et pulvérisées dans un mortier de fer. La facilité avec laquelle il peut être pulvérisé dépend de la proportion de zinc. S'il est trop aigre, cela indique trop de zinc, et même s'il est quelque peu malléable, cela peut tenir aussi à ce qu'il y a trop de zinc ; on peut remédier au défaut en ajoutant de l'alliage frais et en refondant. L'excès de zinc peut être chassé par fusion, mais bien entendu, ce procédé est coûteux. La composition exacte peut toujours être déterminée en prenant un échantillon et l'essayant avant de couler la masse totale. L'alliage est blanc-gris, avec un éclat brillant.

Afin d'essayer les meilleures proportions pour souder les articles contenant de 16 à 22 0/0 de nickel, l'auteur a obtenu un échantillon d'une soudure employée par un grand fabricant ; l'analyse de cette soudure est la suivante :

Cuivre	47,10
Nickel	10,95
Zinc	41,95

Les trois types suivants furent alors préparés :

	I	II	III
Cuivre	45	38	35
Nickel	10	12	8
Zinc	45	50	57

Les trois échantillons furent pulvérisés encore chauds et

essayés par un ouvrier habitué à employer la soudure dont l'analyse a été donnée plus haut. Il considéra le n° II comme la meilleure, mais il préférait celle à laquelle il était accoutumé. Le n° III fut trouvé poreux : la proportion de 57 0/0 de zinc était donc trop forte.

CHAPITRE VI

ALLIAGES D'ÉTAIN.

Étain et zinc.

§ **95**. — Les alliages de ces métaux peuvent s'obtenir facilement par fusion, formant des combinaisons généralement plus dures et moins malléables que l'étain, plus molles que le zinc, et plus ou moins cristallines. La couleur de la cassure dépend de la nature du moule et de la température de l'alliage au moment de la coulée.

Les mêmes observations s'appliquent au retrait pendant la solidification. Les alliages étain-zinc sont principalement employés pour les objets d'ornementation obtenus par coulage et les modèles.

Les recherches suivantes ont été faites par Guettier (1).

« 1° *Etain*, 30 ; *zinc*, 70. — Texture d'un blanc terne ; retrait moyen, rupture facile, sur la cassure facettes plus larges et plus brillantes que le zinc ; le métal est plus dense au milieu du moule ; sec à la lime ; se rompt sous le burin ; légèrement sonore ; apparence de cristallisation à la surface, avec une faible couleur blanc-jaunâtre.

« 2° *Etain*, 25 ; *zinc*, 75. — Texture blanche, tendant au bleu ; léger retrait des barres ; cassure brillante avec grandes facettes bleues comme celles du zinc ; l'étain semble être en plus grande proportion au fond du culot, comme dans le n° 1 ; la surface est recouverte d'une espèce d'enduit, plutôt

(1) Guettier, *Guide pratique des alliages*, 1865.

amorphe que cristallin, et de couleurs très diverses (bleu clair, violet, jaune d'or).

« 3° *Etain*, 50 ; *zinc*, 50. — Texture blanc pâle ; la surface du lingot est très douce, granulée et lamelleuse, sans apparence de retrait ; les extrémités sont quelquefois rondes, et ne présentent pas très nettement les couleurs irisées ; cassure brillante et granulée sur un fond blanc d'étain ; graisse un peu la lime ; l'alliage est bien uniforme, tenace et malléable sans être mou.

« 4° *Etain*, 70 ; *zinc*, 30. — Texture blanche, quelquefois brillante ; pas de tassement ; facilement sonore ; surface granulée avec des taches blanches et jaune pâle ; difficile à briser; se martelle bien ; se travaille facilement au ciseau, qui enlève de longs copeaux ; graisse la lime ; comme celle de l'étain, la cassure n'est ni brillante ni cristalline ; poli, l'alliage est moins brillant que l'étain; il est plus homogène que les précédents.

« 5° *Etain*, 75 ; *zinc*, 25. — Texture blanc d'étain, mais sans éclat ; pas de tassement, surface granulée et bosselée sans particules brillantes ; le haut de la surface a une teinte variant du jaune au bleu rougeâtre ; graisse la lime plus que le n° 4 ; très malléable, quoique résistant au marteau et au ciseau mieux que le n° 4 ; se ploie sans donner le cri de l'étain.

« 6° *Etain*, 10 ; *zinc*, 90. — A la cassure, une barre de l'alliage montre les caractéristiques d'une barre de zinc ; graisse la lime plus que le zinc ; la fracture est d'un gris moins sombre ; le fond du lingot est mou et reçoit facilement l'impression d'un poinçon. Comme dans le n° 2, l'étain semble se rassembler, et au fond, le métal est plus mou que l'étain pur.

« 7° *Etain*, 90 ; *zinc*, 10. — Les barres présentent l'aspect

dentelé de l'étain ; l'alliage graisse moins la lime que l'étain pur ; le culot se tasse sensiblement dans le milieu, quoique les extrémités soient à arête vive ; l'alliage est très malléable, bien qu'il ne soit pas très mou sous le marteau.

« 8° *Etain*, 1 ; *zinc*, 99. — Cassure comme celle du zinc ; brillant légèrement plus éclatant après limage ; le culot se tasse dans le milieu, et la partie la plus basse était molle comme le n° 6, quoique moins épaisse à cause de la petite proportion d'étain dans l'alliage ; les portions molles sont bleues comme le plomb, et facilement rayées par l'ongle.

« 9° *Etain*, 99 ; *zinc*, 1. — Cassure légèrement granulée, moins terne et moins dentelée que celle de l'étain ; l'alliage poli est moins brillant que l'étain ; il y a plus de retrait dans le lingot que dans le culot, et la surface de ce dernier présente des couleurs sombres irradiées.

« *Observations générales*. — Les alliages dans lesquels il y a le plus de zinc présentent dans leur cassure une cristallisation dont les facettes brillent comme le graphite. De très petites proportions d'étain additionnées au zinc sont la cause de cette cristallisation. Dans des circonstances semblables, l'extérieur des pièces coulées est couvert d'un moiré blanc-jaunâtre.

« Dans les pièces épaisses, où le zinc prédomine, il y a une tendance pour les métaux à se séparer au fond du moule ; et ce qui est remarquable, c'est que cette tendance est d'autant plus grande qu'il y a moins d'étain (la séparation est plus grande dans le n° 8 que dans le n° 6). Nous pouvons ajouter, comme une singulière anomalie, que l'étain qui a traversé le zinc et s'est précipité perd ses qualités distinctives et acquiert la mollesse et la couleur bleuâtre du plomb.

« La couleur de l'alliage de zinc et d'étain, après une sim-

ple coulée ou après avoir été limé, devient plus brillante, et cela proportionnellement à la teneur en étain.

« Les alliages déjà riches en étain deviennent granulés lorsque la proportion de zinc augmente. Le n° 3 — 50 d'étain et 50 de zinc — a la cassure du fer, mais sa couleur est plus terne.

« L'alliage n° 9 — 99 d'étain, 1 de zinc — a une cassure ne présentant pas beaucoup l'aspect dentelé de l'étain ; il est gris terne et finement granulé.

« Le poids spécifique des alliages d'étain et de zinc correspond au poids spécifique moyen des deux métaux ; cependant les alliages où l'étain prédomine sont plus denses.

« La perte est plus grande lorsque le zinc est en excès ; l'étain ayant été mis dans le creuset après la fusion du zinc, nous pensons que la plupart de la perte vient du zinc.

« L'addition de 1 0/0 d'étain au zinc suffit pour lui donner une plus grande résistance sans diminuer sa dureté. 1 0/0 de zinc ajouté à l'étain diminue la flexibilité de ce dernier, et ce qui est remarquable, le cri de l'étain n'existe plus. Ces deux alliages, quand la combinaison est intime, ne présentent aucun autre changement possible.

« L'alliage de 50 d'étain et 50 de zinc est le meilleur, eu égard à la raideur et à l'économie. Plus de zinc donnerait un alliage moins homogène, plus cristallin, aigre ; plus d'étain produirait un métal trop mou et graissant la lime. Cependant, pour les pièces minces et résistantes, un alliage de 70 d'étain et 30 de zinc est convenable. Les alliages compris entre ces nombres et les proportions par moitié sont très résistants et très tenaces. Leur malléabilité augmente avec la proportion d'étain.

« L'alliage de 1 de zinc à 99 d'étain, sans diminuer la mal-

léabilité du dernier métal, augmente sa dureté et sa ténacité pour les pièces coulées.

« Les alliages contenant le maximum de zinc sont utilisés dans les fonderies pour les pièces épaisses ; ils sont alors très économiques. Au-dessus de 30 d'étain pour 70 de zinc, ils restent presque aussi secs que le zinc lui-même. L'alliage 25 d'étain et 75 de zinc est moins flexible et moins cassant que le zinc ; il pourrait être adopté pour les modèles de fonderie.

« Les alliages n°s 6 et 8 nous apparaissent plus secs que le zinc. Dans ces expériences, l'étain passant à travers la masse fondue dans le moule s'est précipité au fond. Nous pouvons déduire de là qu'une quantité d'étain, sensiblement inférieure à 1 0/0, est suffisante pour changer la nature du zinc.

« Dans les proportions 40 d'étain et 60 de zinc, l'alliage ne possède que peu de malléabilité. »

Un alliage de 11 parties d'étain pour 1 de zinc, battu en feuilles, constitue l'argent faux en feuilles.

D'après Rudberg, $ZnSn^6$ (1 partie de zinc pour 10,75 d'étain) se solidifie complètement à 204°C., mais tous les autres alliages se séparent par refroidissement en deux portions, l'une consistant en $ZnSn^6$, qui ne se solidifie que lorsqu'il est refroidi à 204°C., pendant que l'autre, formée d'un alliage contenant une plus grande proportion de l'un ou de l'autre métal, se solidifie à plus haute température ; ainsi :

	$ZnSn^{12}$	$ZnSn^6$	$ZnSn^4$	$ZnSn^3$	$ZnSn^2$	$ZnSn$
Point variable.......	210°	»	230°	250°	280°	320°
Point fixe...........	204°	204°	204°	204°	204°	204°

Un métal, très employé maintenant pour les boutons, est préparé en laminant une lame mince d'étain sur chaque côté d'une feuille épaisse de zinc. Les métaux se soudent bientôt

ensemble, et le produit obtenu a l'avantage des objets étamés.

Étain et plomb.

§ **96.**—Ces métaux sont facilement fusibles et s'unissent en toutes proportions, formant une série d'alliages intéressants. Le plomb laisse sur le papier une trace noire, et lorsqu'il est allié à une quantité limitée d'étain, ce caractère subsiste ; mais si l'on dépasse cette limite, l'alliage perd sa propriété de noircir le papier. Il est ainsi possible d'estimer grossièrement la quantité de plomb présent dans un échantillon, si l'on y ajoute la façon de se comporter du métal sous le marteau, la lime et le ciseau. 90 parties d'étain et 10 de plomb donnent un alliage ne rayant pas le papier ; — 75 d'étain et 25 de plomb laissent une légère marque. Entre ces limites, aucune trace ne peut être observée sur le papier. Tous les alliages plomb-étain contenant moins de 75 0/0 d'étain ont la propriété de marquer le papier.

Les alliages de plomb et d'étain ont moins de retrait par le refroidissement que chacun des métaux pris séparément ; ils sont moins fluides à l'état fondu, et les pièces n'ont pas la même finesse. L'effet du plomb ou de l'étain est d'augmenter leur malléabilité et leur ductilité, mais de diminuer leur ténacité et leur dureté. Dans l'alliage, 90 d'étain, 10 de plomb, l'étain conserve son cri, mais à un degré moindre que dans l'étain pur. Au contraire, 1 0/0 de zinc dans l'étain est suffisant pour faire disparaître le cri de l'étain lorsque le métal est courbé.

Le tableau suivant contient les résultats des expériences de Kuffer, relatifs aux poids spécifiques et aux points de fusion des alliages plomb-étain.

L'auteur a ajouté la composition centésimale.

COMPOSITION DES ALLIAGES			POIDS SPÉCIFIQUE		DIFFÉRENCE.	POINT DE FUSION.
Formules.	Pour 100. Pb.	Pour 100. Sn.	Calculé.	Trouvé.		
Pb	100	»	»	11,3803	»	335° C.
Sn	»	100	»	7,2911	»	230° C.
Sn Pb*	63,7	36,3	9,4366	9,4263	0,0103	241° C.
$Sn Pb^2$	77,82	22,18	10,0936	10,0782	0,0154	»
$Sn Pb^3$	84,04	15,96	10,4122	10,3868	0,0254	239° C.
$Sn Pb^4$	87,42	12,58	10,6002	10,5551	0,0431	»
$Sn^2 Pb$	46,73	53,27	8,7518	8,7454	0,0064	196° C.
$Sn^3 Pb$	36,90	63,10	8,3983	8,2914	0,0069	186° C.
$Sn^4 Pb$	30,49	69,51	8,1516	8,1730	0,0096	189° C.
$Sn_5 Pb$	25,85	74,15	8,0372	8,0279	0,0093	194° C.
$Sn_6 Pb$	17,04	82,96	7,9526	7,9210	0,0116	»

* Sn = 118 Pb = 207

« Les alliages de plomb et d'étain se distinguent par la facilité avec laquelle ils prennent feu et brûlent. L'alliage de 4 à 5 parties de plomb et 1 d'étain brûle comme le charbon de bois au rouge, la combustion continuant comme celle d'un charbon inférieur avec formation d'excroissances analogues au chou-fleur. L'action paraît due à l'affinité entre les deux oxydes (1). »

§ **97**. — Le *potin* est essentiellement un alliage de plomb et d'étain auquel on ajoute quelquefois de petites quantités d'autres métaux. Le potin commun contient 80 parties d'étain et 20 de plomb. Holtzapfel dit que quelques potins sont faits avec des quantités égales des deux métaux ; coulés, ils sont noirs, brillants et mous ; tournés, ils deviennent sombres et bleus. D'autres potins ne contiennent que 1/5 à 1/6 de plomb : coulés ils sont blancs, sans éclat et durs. Ils sont réputés comme de bons métaux, et sont un peu plus ternes que l'étain. La législation française estime que l'alliage contenant 18 0/0 de plomb et 82 0/0 d'étain est sans danger

(1) Watt, *Dict. of Chem.*, p. 534.

dans les ustensiles pour le vin et le vinaigre. Le plus beau potin, appelé *tin* et *temper*, consiste principalement en étain, auquel on ajoute un peu de plomb et de cuivre, ce qui le rend dur et quelque peu sonore ; mais le métal devient brun si le cuivre est dans une certaine proportion. Le cuivre avec deux fois son poids d'étain est fondu, et de 0 kg. 25 à 3 kg. de cet alliage, appelé *temper*, sont additionnés à un bloc d'étain pesant de 160 à 180 kg. Le zinc en petite quantité est ajouté à l'alliage fondu, et le mélange est bien agité. L'opérateur considère que le zinc enlève les impuretés, les amenant à la surface à l'état d'écumes, et aussi que la combustion du zinc pendant la coulée empêche l'oxydation du potin.

L'étain pur est maintenant très employé à la place du potin ; il n'est pas seulement plus blanc, mais pour les usages domestiques, il est plus sain à cause de la nature vénéneuse des composés du plomb, quoiqu'il ait été établi que l'on peut allier à l'étain, sans danger, jusqu'à 18 0/0 de plomb. Un alliage de 3 parties de plomb et 5 d'étain est employé pour étamer certains articles de cuivre. Les alliages plomb-étain ont un aspect brillant et sont utilisés pour la joaillerie de théâtre. Les *brillants Fahlum* sont constitués par 39,6 parties de plomb et 60,4 d'étain. L'alliage fondu est versé dans des moules garnis de facettes de la même manière que les diamants. Les jouets, tels que les soldats d'étain, et beaucoup d'autres articles sont faits d'alliages de plomb et d'étain.

Pour tremper les divers objets d'acier, où il est important d'avoir une température définie et uniforme, MM. Parkes et Martin ont proposé les alliages suivants :

ALLIAGE		TEMPÉRATURE DE FUSION		ARTICLES
Pb	Sn	Cent.	Fahr.	
14	8	213°4	415°4	Lancettes.
15	8	221	429°8	Autres instruments de chirurgie.
16	8	228	442°4	Rasoirs.
17	8	240	464	Canifs, ciseaux à froid.
28	8	257	494°4	Cisailles, outils de jardinier.
36	8	262	503°6	Haches, rabots, petits ciseaux.
60	8	275	532°2	Couteaux de table, grands ciseaux.
96	8	284	542°2	Epées, ressorts de montre.
100	8	289	575	Grands ressorts, tarières, scies, etc.

Les mêmes auteurs ont déterminé les points de fusion des alliages de plomb et d'étain ; voici leurs résultats :

Composition		Points de fusion		Composition		Points de fusion	
Etain	Plomb	Fahr.	Cent.	Etain	Plomb	Fahr.	Cent.
50	50	372	189	12,5	87,5	527	275
60	40	336	169	11,8	88,2	530	277
66,7	33,3	340	170	11,1	88,9	532	278
71,4	28,6	348	175,5	10,5	89,5	535	279,5
75	25	354,2	173	10	90	538	281
77,8	22,2	362	186	9,5	90,5	540	282
80	20	367	189	9	91	542	283
81,8	18,2	372	183	8,7	91,3	544	284,5
83,3	16,7	378	199	8,3	91,7	546	285,5
84,6	15,4	380	190	8	92	548	286,5
85,7	14,3	382	194,4	7,7	92,3	550	287,7
40	60	412	211	7,4	92,6	551	288,3
83,3	66,7	442	228	7,1	92,9	552	289
28,6	71,4	470	243	6,7	93,3	554	290
25	75	482	250	6,4	93,6	555	290,5
22,9	77,1	490	254,4	6,3	93,7	556	291
20	80	498	259	6,2	93,8	557	291,7
18,2	81.8	505	263	6	94	557	291,7
16,7	83,3	512	267	5,9	94,1	557	291,7
15,4	84,6	517	269,5	5,7	94,3	557	291,7
14.3	85,7	519	270,5	5,5	94,5	557	291,7
13,3	86,7	523	273	5,4	94,6	558	292

D'après Tilden (1), l'alliage le plus fusible de plomb et

(1) *Chem. Philosophy*, p. 15.

d'étain contient près de 2 parties d'étain pour 1 de plomb, ou 3 atomes 3 d'étain pour 1 de plomb. Les points de fusion de cet alliage et des autres sont représentés graphiquement par la courbe de la fig. 14.

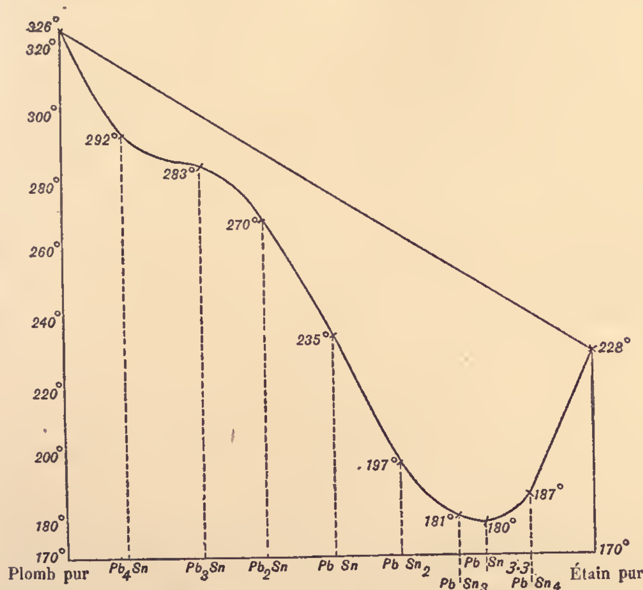


Fig. 14.

Soudures tendres.

§ **98.** — Elles consistent habituellement en plomb et étain alliés en diverses proportions, et jusqu'à un certain point, la fusibilité de l'alliage augmente avec la teneur en étain ; mais ceci ne s'applique plus s'il y a plus de 67 0/0 d'étain. Lorsqu'une soudure plus fusible est nécessaire, on ajoute du bismuth, quelquefois du cadmium. L'étain métallique peut être employé seul, comme dans la soudure de la belle vaisselle d'étain. Le plomb est enfin soudé au plomb par simple fusion

des extrémités des objets au moyen du chalumeau, comme dans les chambres de plomb. Ceci s'appelle la *soudure autogène.*

Les soudures tendres sont appelées *communes*, *moyennes* ou *supérieures*, selon la quantité d'étain, celles contenant le plus de plomb étant le meilleur marché. La soudure supérieure est très employée pour le métal Britannia, les belles vaisselles d'étain, le laiton et d'autres articles métallurgiques. Les variétés communes sont utilisées par les plombiers. Un alliage de 1 partie d'étain et 2 de plomb constitue la *soudure des plombiers.*

Le tableau suivant donne différentes compositions de soudures tendres :

Etain	Plomb	Etain	Plomb
1	10	1.5	1
1	5	2	1
1	3	3	1
1	2	4	1
1	1	5	1

La qualité de la soudure est grossièrement jugée par l'aspect de la surface quand elle est coulée dans un moule et qu'on la laisse refroidir. Avec un excès de plomb, la surface est d'un blanc-grisâtre uniforme. Avec un excès d'étain, elle est brillante avec des taches d'un blanc-grisâtre terne. En fait l'aspect se rapproche de celui du plomb ou de l'étain, suivant la quantité de plomb ou d'étain présent.

Alliages d'étain, de plomb et de zinc.

§ **99.** — La présence de plomb communique plus de corps et de résistance aux alliages d'étain et de zinc que lorsque ces

métaux sont employés seuls, mais l'alliage ternaire graisse la lime autant que le zinc. Les cassures sont plus franches que celles des alliages étain-zinc. Si les trois métaux sont en quantités égales, les alliages sont malléables, quoique pas très ductiles, et peuvent être économiquement employés dans certains cas.

Voici quelques compositions de ces alliages ternaires (1) :

Nos	Etain	Zinc	Plomb
1	76	12	12
2	12	76	12
3	12	12	76
4	34	33	33
5	10	45	45
6	45	45	10
7	45	10	45

Le no 2 est aussi dur et cassant que le zinc, quoique plus résistant. Le no 3 ressemble au plomb ; il laisse une marque sur le papier, semble être uniforme et a une couleur de plomb. Tous ces alliages conviennent mieux pour les coulées qu'aucun des trois métaux pris seul. Les nos 1, 3 et 7 semblent très bien résister au frottement. Les nos 2, 4 et 5 conviennent mieux que le zinc pur pour les travaux demandant plus de résistance. Le no 6 est très utile pour les petites pièces exigeant une certaine malléabilité ; il est employé pour les ornements (gravure et ciselure). Pour ces usages, les nos 2, 4 et 5 seraient trop cassants et les nos 1, 2 et 7 trop mous. Tous ces alliages d'étain, de zinc et de plomb sont un peu brillants lorsqu'ils sont polis ; ils se ternissent rapidement à l'air. Quelques-uns d'entre eux peuvent être employés comme métal-type. La plupart se laminent facilement.

(1) Guettier, *Guide pratique des alliages*, 1865.

Il est préférable de fondre le zinc à la plus basse température possible, d'y ajouter l'étain, puis le plomb. Les métaux doivent être couverts avec du charbon de bois, ou avec de la résine ; on ajoute un peu de borax pour empêcher l'oxydation. Pour les alliages blancs, les meilleures proportions sont les suivantes :

Etain	67,0	73,0
Zinc	16,5	13,5
Plomb	16,5	13,5

On augmente la proportion de zinc si l'on désire de la ténacité et de la dureté. L'étain accroît la malléabilité, la blancheur et l'éclat. Mais la quantité de plomb ne doit pas dépasser celle indiquée ci-dessus.

Alliages d'étain et d'antimoine.

§ **100**. — Ces métaux forment la base de ce qui est appelé *métal anglais* ou *métal Britannia*, beaucoup de variétés de ce dernier étant constituées par de l'étain durci par de l'antimoine. De tels alliages sont aussi blancs que l'étain, mais plus durs et moins malléables. L'aigreur augmente comme la proportion d'antimoine s'accroît. Guettier dit que le poids spécifique des alliages étain-antimoine est inférieur à celui qui serait calculé à l'aide du poids spécifique de chacun des métaux, ce qui indique qu'il y a dilatation par suite de l'union de l'étain et de l'antimoine. Un alliage de 80 parties d'étain et 20 d'antimoine est suffisamment malléable pour être martelé et laminé à froid. En restant aux environs de ces proportions, on obtient les meilleurs alliages étain-antimoine pour faire les pots et les planches de gravure. Un métal blanc de cuiller à dessert analysé par l'auteur a donné :

Etain	79
Antimoine	20
Cuivre	0,6
Fer	0,4

Le tableau suivant indique la composition de différents alliages étain-antimoine :

	Etain	Antimoine
Métal anglais	90.7	9,2
—	94,0	6,0
Métal d'Alger	90,0	10,0
—	75,0	25,0
Corps des robinets	86,0	14,0
Noix —	80,0	20,0
Alliage très dur, formant l'extrême limite des alliages ordinaires antimoine-étain	67,0	33,0
Métal pour coussinets	79,0	21,0

D'après Chaudet, 10 parties d'étain et une d'antimoine forment un alliage parfaitement ductile.

Les alliages étain-antimoine sont faits par fusion des deux métaux ensemble. Ils peuvent être faits aussi en réduisant le sulfure d'antimoine au contact de l'étain.

Métal anglais.

§ **101**. — Cet alliage est composé d'étain et d'antimoine, mais on y ajoute plus généralement d'autres métaux, tels que le cuivre, le zinc, le plomb, le bismuth, etc. Le métal anglais a une couleur blanche, avec une teinte bleuâtre ; il prend un beau poli ; il est dur, malléable et ductile, suivant la proportion d'étain et de cuivre. Cependant ce dernier métal doit toujours être limité en quantité, car il tend à communiquer une teinte jaunâtre et à diminuer la fusibilité : aussi la proportion de cuivre employé doit-elle être petite par rap-

port à l'étain et à l'antimoine. Les bons alliages ont une cassure dentelée, finement granulée. Si la cassure est cristalline, l'alliage contient trop d'antimoine, ou bien il doit être refondu afin de provoquer un mélange plus intime des constituants. Le fer et le zinc semblent devoir être rejetés, car ils augmentent considérablement la dureté et l'aigreur. Si l'on emploie beaucoup de zinc pour faire un alliage bon marché, l'antimoine doit être en plus petite quantité qu'il n'est ordinairement dans les meilleurs alliages. Le plomb est avantageux dans les travaux de moulage, car il rend l'alliage plus fusible ; mais il diminue la couleur et l'éclat ; de plus, l'alliage ternit plus facilement à l'air. L'arsenic, même en petite quantité, donne de l'aigreur, et doit être évité autant que possible. Les alliages contenant des métaux autres que l'étain et l'antimoine ont moins d'éclat que si ces deux métaux sont employés seuls. Le tableau suivant donne la composition de quelques variétés de métal anglais :

Métal Britannia.	Sn.	Sb.	Cu.	Zn.	Bi.	Pb.	Autres métaux.
Anglais.	94	5	1	»	»	»	»
id.	90	6	2	»	2	»	»
id.	90	7	3	»	»	»	»
id.	89,3	7	1,8	»	»	1,8	»
id.	85,47	9,66	1,81	3,06	»	»	»
id.	85	5	3,5	1,5	5	»	»
id.	80	10	9	»	»	1	»
id.	75	8,5	»	»	8	8,5	»
id. (en feuilles) .	90,6	7,8	1,5	»	»	»	»
id. (coulé). . . .	90,6	0,2	9,2	»	»	»	»
Métal de la Reine. . .	50,5 à 75,5	16,5 à 8,5	»	»	16,5 à 8	16,5 à 8	»
id. . . .	88,5	7,1	3,5	0,9	»	»	»
id. . . .	88,5	7,0	3,5	»	1	»	Laiton
Métal Anglais Tutania	25	25	»	»	25	»	25
id. Allemand id.	7	92	1	»	»	»	»
id. Engestrum id.	7	62	31	»	»	»	»
id. Biddery (Inde) .	»	»	3,5	93,4	»	3,1	»
id. id.	1,4	»	11,4	84,3	»	2,9	Nickel
id. Ashberry. . . .	80	14	2	1	»	»	3
id. id.	79	15	3	2	»	»	1
id. Minofor.	68,5	18,2	3,3	10	»	»	»
id. Allemand. . . .	72	24	4	»	»	»	»
id. id. . . .	84	9	2	5	»	»	»
id. id. . . .	20	64	10	6	»	»	»

En plus des alliages indiqués dans le tableau précédent, beaucoup d'autres combinaisons sont employées pour produire des alliages blancs ayant certaines propriétés ; mais l'usage d'alliages complexes est très déprécié. Comme règle, la stabilité est d'autant plus grande que l'alliage est plus simple ; et quoique un alliage utile puisse être obtenu par des manipulations soignées, les proportions sont modifiées lorsque les déchets sont refondus, ou mélangés avec du métal neuf et refondus.

L'auteur recommande alors un alliage ternaire d'étain, d'antimoine et de cuivre, de préférence à un plus complexe, spécialement pour les travaux forgés.

La préparation du métal anglais est fondée sur l'idée de rendre l'étain plus dur, plus tenace, plus sonore et plus facilement polissable. Il donne des pièces aussi belles et aussi fines que celles obtenues avec la plupart des alliages fluides d'étain et de plomb, de cuivre et de zinc, etc. Il prend un plus beau poli que les alliages étain-plomb, parce que ce dernier est trop mou pour supporter l'action de l'émeri et des autres agents de polissage. On ajoute quelquefois un peu de laiton ; le bismuth augmente la fusibilité. Les proportions suivantes serviront de guide :

1	partie laiton (70 cuivre, 30 zinc)	1	partie bismuth	
1	— étain	1	— antimoine	

Les métaux sont fondus ensemble : puis l'alliage ainsi formé est fondu avec 15 à 20 0/0 d'étain, selon l'opérateur. Un alliage très complexe, appelé par l'inventeur *métal anglais*, contient :

Etain	87	parties	Bismuth	0,5	parties
Cuivre	2	—	Antimoine	6	—
Laiton	1	—	Tungstène	1,5	—
Nickel	2	—			

Le métal Britannia est mieux préparé en fondant d'abord le cuivre, puis ajoutant l'antimoine avec une portion de l'étain, puis le reste de l'étain. Le mélange doit être vigoureusement remué, afin de mélanger complètement les constituants. Si l'alliage, sur la cassure, montre une structure non homogène, il doit être rapidement refondu sous une couche de charbon de bois pour empêcher l'oxydation. Certains alliages sont très élastiques, et conviennent bien pour la fabrication des fils. A cet égard, ils possèdent presque la même ténacité que l'étain pur. Avec des proportions convenables, les alliages peuvent être facilement martelés et laminés, quoiqu'ils aient une tendance à craquer sur les bords.

Le Dr Karmarsch, qui a soigneusement étudié les propriétés du métal Britannia, dit que le poids spécifique est diminué par le laminage, le métal ayant une plus grande densité à l'état coulé qu'à l'état laminé. Il explique ceci en disant que les particules, sous la pression des rouleaux, ont une tendance à se séparer, leur mollesse et leur ténacité n'étant pas assez grandes pour permettre une compression régulière et uniforme. Ceci n'est pas un fait isolé. M. Le Brun a trouvé un poids spécifique plus bas pour certains alliages de cuivre et de zinc qui avaient été laminés ou martelés.

Pour obtenir de belles coulées de métal Britannia, il faut employer des moules de laiton. Avant la coulée, les moules doivent être chauffés ; leur intérieur doit être enduit d'un mélange de noir de fumée et d'essence de térébenthine, ou de noir de fumée seul, afin d'éviter l'adhérence du métal au moule. Les moules peuvent être ainsi préparés en les chauffant au-dessus de la flamme d'une lampe remplie d'essence de térébenthine. Au lieu de noir de fumée, quelques fabricants emploient de la craie rouge, mêlée en masse uniforme avec de l'eau.

Beaucoup d'articles ne peuvent pas être coulés en une seule pièce avec les moules ordinaires ; les différentes parties sont coulées séparément, puis soudées ensemble (1). « Pour couler un article, tel qu'une cafetière, en une pièce, il faut beaucoup d'habileté et de jugement. Les parties séparées du moule ayant été noircies sont réunies, et le tout chauffé presque à la température du point de fusion du métal Britannia. Le métal est alors versé jusqu'à ce que le moule semble entièrement rempli. On attend pour qu'une couche suffisamment épaisse de métal soit solidifiée, et le moule est vivement retourné pour que ce qui reste liquide coule en dehors. L'intérieur des articles obtenus par cette méthode est quelquefois grossièrement cristallin. Ceci est dû à un commencement de cristallisation, et à ce que les angles et les extrémités des petits cristaux se trouvent à découvert au moment où l'on renverse la portion liquide du métal. L'intérieur des objets peut être poli avec un brunissoir, pendant qu'ils sont encore dans le moule. »

ALLIAGES FUSIBLES.

Ce nom est donné à une série d'alliages qui fondent à une température relativement basse et qui contiennent principalement de l'étain, du plomb et du bismuth. Avant d'étudier les alliages ternaires, nous donnerons un court aperçu sur les alliages d'étain et de bismuth.

Étain et bismuth.

§ **102**. — Ces deux métaux ont des points de fusion peu élevés ; fondus ensemble, ils se combinent facilement Une

(1) Brannt, *Alliages métalliques*, p. 280.

très petite proportion de bismuth donne à l'étain plus de dureté, de sonorité, d'éclat et de fusibilité. Cependant, le bismuth étant facilement oxydable, et contenant souvent de l'arsenic, il n'est pas convenable d'en employer beaucoup allié à l'étain pour les ustensiles culinaires, etc. Les alliages d'étain et de bismuth sont plus fusibles que chacun des métaux pris séparément.

« Un alliage de 354 parties (3 atomes) d'étain et 420 parties (2 atomes) de bismuth, refroidi après avoir été fondu, ne présente qu'un seul point de solidification : il se refroidit d'abord régulièrement jusqu'à 143°, et reste alors à cette température pendant quelque temps, jusqu'à ce que la chaleur latente, devenue libre, se soit dégagée. Mais tous les autres alliages de ces métaux ont un point de solidification plus élevé : l'excès de l'un ou de l'autre métal, ou plutôt un alliage défini contenant un excès de l'un ou des deux métaux se solidifie d'abord, et après, à 143°C., c'est l'alliage $Sn^3\ Bi^2$. Le point de solidification, ou point de séparation est 190° pour Sn^4 Bi, 160° pour Sn^2 Bi, 170° pour $Sn^2\ Bi^3$ et 190° pour Sn Bi^2 (1). »

La composition centésimale des alliages ci-dessus avec leurs points de fusion sont donnés sur le tableau suivant :

	Etain.	Bismuth.	Point de solidification.
$Sn_3\ Bi^2$ ...	45,73	54,27	143° C.
Sn_4 Bi....	69,21	30,79	190° C.
Sn_2 Bi....	52,91	47,09	160° C.
$Sn^3\ Bi^2$...	27,25	72,75	170° C.
Sn Bi^2...	21,93	78,07	190° C.

Chaudet dit qu'un alliage de 40 parties d'étain pour 1 de bismuth est parfaitement ductile ; l'addition de 1 partie de

(1) RUDBERG, *Ann. Pogg.*, t. XVIII, p. 240.

plomb diminue la ductilité. Un alliage de 25 parties d'étain et 1 de bismuth est légèrement ductile. D'après Lewis, un alliage de 3 parties d'étain et 1 de bismuth fond à 199° C. Un alliage de 3 parties d'étain et 1 de bismuth est pulvérisable, d'une cassure gris foncé ; son poids spécifique est 7,776. Un alliage de 2 parties d'étain et 1 de bismuth fond à 166° C. Un alliage de 1 partie d'étain et 1 de bismuth est parfaitement cassant, pulvérisable, avec une cassure d'un grain fin ; son poids spécifique est 8,345. Il fond à 138° C., d'après Lewis, et se dilate beaucoup en se solidifiant. Dœbereiner a trouvé que l'alliage Sn^3Bi^2 fond entre 131° C. et 137° C.

Alliages d'étain, de bismuth et de plomb.

§ **103**.— Les alliages contenant ces trois métaux sont plus fusibles que ceux qui n'en contiennent que deux. Ils sont utiles pour vérifier une température donnée ; — pour faire facilement des métaux plastiques afin d'obtenir des coulées d'objets délicats qui peuvent être endommagés par une trop haute température ; — pour faire des soudures tendres très fusibles ; — et enfin, comme mesure de précaution, pour des appareils susceptibles d'être détruits par une augmentation subite et excessive de température. Dans cet ordre d'idées, peuvent être citées les soupapes de sûreté fusibles des chaudières, qui furent d'abord très employées.

Les alliages fusibles sont fondés sur la propriété qu'ont certains métaux de devenir plus fusibles à l'état combiné. Le bismuth, l'étain et le plomb suivent spécialement cette règle. Si l'on ajoute du cadmium, l'alliage est encore plus fusible. Il est difficile d'obtenir ces alliages dans un état parfaitement homogène, car ils ont une tendance à se décomposer pendant la solidification, le plomb se séparant d'abord au fond de la

masse. L'alliage le plus fusible de plomb, de bismuth et d'étain consiste en parties égales de plomb et d'étain, et deux fois la quantité de bismuth ; il fond à 94° C. Selon Erman, il se dilate d'une façon anormale lorsqu'il est chauffé. Il se dilate régulièrement de 32° à 95° C., puis se contracte graduellement jusqu'à 131° C. ; à ce point, il occupe un volume moindre qu'à 32° ; il se dilate ensuite jusqu'à 174°, et à partir de ce point, la dilatation devient régulière. A cause de cette propriété de se dilater pendant le refroidissement, étant encore à l'état mou, il est très employé pour prendre des empreintes ; les lignes les plus fines sont reproduites avec beaucoup de fidélité. Une particularité de cet alliage est qu'il devient encore chaud, assez pour brûler les doigts, après qu'il a été refroidi dans l'eau. La cause de ce phénomène est attribuée à un effet de chaleur latente. Pendant la solidification et la cristallisation des parties internes de l'alliage, la chaleur latente de ces parties est immédiatement transmise à la surface refroidie.

M. Darcet a étudié les propriétés des alliages suivants :

1° Bismuth, 70 ; plomb, 20 ; étain, 40. Se ramollit à 100° C. sans fondre et peut être pétri entre les doigts, ceux-ci étant protégés.

2° Bismuth, 80 ; plomb, 20 ; étain, 60. Se ramollit à 100° C. et est facilement oxydé. Il y a cependant trop d'étain.

3° Bismuth, 80 ; plomb, 20 ; étain, 40.

4° Bismuth, 160 ; plomb, 40 ; étain, 70.

5° Bismuth, 90 ; plomb, 28 ; étain, 40.

Ces trois alliages deviennent plus ou moins mous à 100° C. Le n° 4 devient plus mou que les n°s 3 et 5.

6° Bismuth, 160 ; plomb, 50 ; étain, 70. Devient presque fluide à 100° C.

7° Bismuth, 80 ; plomb, 30 ; étain, 40. Devient liquide à 100° C., mais pas très fluide.

8° Bismuth, 80 ; plomb, 40 ; étain, 40. Devient très liquide à 100° C.

9° Bismuth, 80 ; plomb, 70 ; étain, 10. Devient mou à à 100° C., mais ne fond pas.

10° Bismuth, 160 ; plomb, 150 ; étain, 10. Ni liquide ni mou à 100° C.

Ces alliages sont généralement aigres ; néanmoins ils peuvent être coupés. Leur cassure est gris-noirâtre. Ils se ternissent rapidement à l'air, plus vite dans l'eau bouillante ; ils se recouvrent alors d'une pellicule qui tombe en une poudre noire. MM. Parkes et Martin ont étudié les propriétés des alliages fusibles d'étain, de bismuth et de plomb, et les ont recommandés comme bains de trempe pour outils. L'objet devant être trempé est placé sur l'alliage qui est alors chauffé jusqu'à sa fusion ; l'objet est ensuite rapidement refroidi dans l'eau. Les alliages de plomb et de bismuth ont aussi été essayés, mais ils s'oxydent trop facilement et ont une grande tendance à se liquater par refroidissement. Les alliages de bismuth et d'étain réussissent mieux. Les meilleurs sont :

BISMUTH	ÉTAIN	POINT DE FUSION
50	50	160° C.
33	67	166 »
20	80	200 »

Les résultats de Parkes et Martin sont donnés dans le tableau suivant :

Bismuth	Plomb	Etain	Degrés centigrades.	Bismuth	Plomb	Etain	Degrés centigrades.
8	5	3	94	8	16	24	158
8	6	3	98	8	18	24	156
8	8	3	108	8	20	24	154
8	8	4	113	8	22	24	153
8	8	6	117	8	24	24	154
8	8	8	123	8	26	24	160
8	10	8	130	8	28	24	166
8	12	8	132	8	32	24	172
8	16	8	149	8	32	24	178
8	16	10	151	8	32	28	167
8	16	12	143	8	32	30	164
8	16	14	143	8	32	32	160
8	16	16	144	8	32	34	159
8	16	18	148	8	32	36	160
8	16	20	151	8	32	38	161
8	16	22	156	8	32	40	162

L'alliage fusible de Newtòn est le même que le n° 1 du tableau ci-dessus.

L'alliage de Rose consiste en

Bismuth 2
Etain. 1
Plomb 1

L'alliage d'Onions contient:

Bismuth 5
Etain. 2
Plomb 3

et fond à 90° C.

Pour les pièces délicates, on recommande les proportions suivantes :

	I	II	III	IV
Bismuth.	6	5	2	8
Etain	3	2	1	3
Plomb , ...	13	3	1	5

Ces alliages se dilatent beaucoup par refroidissement. Un alliage composé de :

Etain	48
Plomb	32,5
Bismuth	9
Antimoine	10,5

est spécialement propre pour les cylindres d'impression des étoffes de coton, et, possédant une dureté considérable, il s'use bien.

Alliages fusibles contenant du cadmium.

§ **104**. — Comme le bismuth, le cadmium a la propriété d'abaisser le point de fusion de beaucoup d'alliages ; quelques-uns d'entre eux sont facilement fusibles dans l'eau bouillante. Le cadmium ne rend pas les alliages aussi cristallins et aussi cassants que le bismuth ; beaucoup de ses combinaisons pourront être martelées et laminées. Le principal usage du cadmium est dans les alliages fusibles employés comme soudures pour les pièces demandant une basse température ; les dentistes se servent également de ces alliages pour boucher les dents creuses.

Les alliages de cadmium contiennent généralement de l'étain, du plomb, du bismuth et du cadmium. On ajoute quelquefois du mercure pour abaisser le point de fusion. Le tableau suivant donne la composition et les points de fusion des alliages de cadmium les plus importants :

	Cadmium	Plomb	Etain	Bismuth	Points de fusion
Alliage de Lipowitz	3	8	4	15	70° C.
Alliage fusible.	2	11	3	16.	77° »
—	10	8	3	8	75° »
—	1	»	2	3	95° »
—	1	»	3	5	95° »
—	1	»	1	2	95° »
—	1	2	1	4	66° »
Alliage de Wood.	2	4	2	5	71° »
Alliage fusible.	2	2	4	»	86° »
Métal à caractères d'imprimerie	22,5	50	36	»	»

L'alliage de Lipowitz est préparé en fondant les constituants ensemble, et en agitant bien avec un morceau de bois dur avant de couler. Cet alliage est blanc d'argent, brillant; il peut être courbé, martelé et tourné. Il est très bon pour les coulées d'objets délicats, pour souder le métal Britannia et les autres métaux ne pouvant être fortement chauffés et ayant une couleur blanche. Il commence à se ramollir à 60° C.

Selon Hauer, les points de fusion des alliages fusibles sont proportionnels à la composition atomique ; ainsi :

1	$Cd\,Sn\,Pb\,Bi$	68° C.
2	$Cd^3Sn^4\,Pb^4Bi^4$	67° »
3	$Cd^4Sn^5\,Pb^5Bi^5$	66° »
4	$Cd\,Pb^6\,Bi^7$.	88° »
5	$Cd\,Pb^3\,Bi^2$.	89° »
6	$Cd_2\,Pb^7\,Bi^4$	95° »

Les formules ci-dessus correspondent aux compositions centésimales suivantes :

	I	II	III	IV	V	VI
Cadmium	17,31	13,6	14,3	4	9,7	8,9
Etain.	18,24	19,0	19,0	»	»	»
Plomb.	32,00	33,4	33,1	44	54,0	57,7
Bismuth.	32,45	34,0	33,6	52	36,3	33,4

Alliages fusibles contenant du mercure.

§ **105**. — Un alliage contenant :

Plomb	20
Bismuth	20
Mercure.	60

est liquide à la température ordinaire et peut être filtré à travers une peau de chamois comme le mercure.

Un alliage fusible pour coulées est fait en ajoutant un seizième de son poids de mercure à l'alliage précité sous le nom d'alliage de Rose. Le nouveau composé est fusible à la température du corps humain. Cet alliage peut être employé pour prendre les formes de certaines parties du corps humain après la mort, comme l'oreille ; les substances organiques sont détruites par une solution concentrée de potasse caustique ; le métal reste.

Un alliage pour les cuillers à thé fusibles, etc., contient :

Bismuth	8
Etain	3
Plomb	5
Mercure	1 à 2

Les alliages suivants sont utilisés pour remplir les dents :

	I	II
Cadmium	25,99	21,74
Mercure	74,01	78,26

Chacun des alliages mentionnés plus haut peut être employé si on le rend plus fusible, en y ajoutant un peu de mercure.

Alliage pour préparations anatomiques. — L'alliage suivant fond à 76°C. et reste liquide à 60°C. :

Bismuth	53,5
Plomb	17,0
Etain	19,0
Mercure	10,5

CHAPITRE VII

ALLIAGES DE PLOMB.

§ **106**. — Le plomb forme des alliages avec la plupart des métaux ; quelques-uns ont déjà été décrits. C'est un métal mou, facilement fusible, qui tend généralement à communiquer ces propriétés aux métaux auxquels il est combiné. Quelques-uns de ces alliages sont considérés comme des composés définis, capables de se dissoudre dans un excès de plomb. Une addition de quelque autre métal au plomb le durcit et modifie sa malléabilité. Le zinc et le fer s'allient au plomb en proportions limitées, les constituants se séparant d'après leurs poids spécifiques. Les alliages les plus importants du plomb sont le potin, la soudure tendre, le métal pour caractères d'imprimerie, le plomb de chasse.

§ **107**. — *Caractères d'imprimerie.* — Un tel alliage doit être facilement fusible, sans grande tendance à cristalliser près de la surface du moule, suffisamment dur pour éviter l'écrasement des lettres au moment de l'impression, capable de se dilater par refroidissement pour remplir exactement le moule.

Pour remplir ces conditions, le plomb a généralement été adopté comme base de ces alliages, les autres métaux étant ajoutés pour le durcir et lui communiquer les propriétés énoncées ci-dessus. Le zinc a été essayé, mais il ne s'allie pas bien avec le plomb. L'antimoine répond bien au but cherché, mais s'il y en a une certaine quantité, les alliages deviennent très cristallins, durs et cassants. Les alliages plomb-anti-

moine, ne contenant pas plus de 15 0/0 d'antimoine, ont l'importante propriété de se dilater par refroidissement, ce qui les rend très convenables pour la fabrication des caractères d'imprimerie. L'alliage à 15 0/0 d'antimoine est celui qui est le plus satisfaisant, au point de vue de la fluidité et de la dilatation par refroidissement. Il est plus fusible que chacun des constituants. Cependant cet alliage, quoiqu'ayant le degré voulu de dureté, a une structure vitreuse, et résiste imparfaitement à l'action de la presse et des agents de décapage. On essaya alors d'augmenter la résistance sans perdre les autres qualités.

Ce résultat fut obtenu en employant l'étain ou le bismuth. La meilleure proportion d'étain semble être de 6 à 8 0/0. Une plus grande quantité cause des pertes par oxydation : l'alliage devient aussi trop cassant, avec une grande tendance pour l'étain et l'antimoine à cristalliser. D'autres métaux ont été ajoutés au plomb et à l'antimoine pour des usages spéciaux. Le cuivre et le fer sont additionnés en petite quantité pour produire un alliage dur et résistant pour l'impression des journaux. Le tableau suivant donne la composition de quelques alliages pour caractères d'imprimerie :

	Pb	Sb	Sn	Bi	Cu	Zn	Autres métaux.
Caractères d'imprimerie.	4	1	»	»	»	»	»
id.	7,5	2,5	»	»	0,5	»	»
id.	9	1	»	»	»	»	Arsenic: 0,5
id.	64	8	12	»	»	16	»
Petits caractères et stéréotypes.. .	9	2	»	2	»	»	»
id. . .	16	4	5	»	»	»	»
id. . .	3	1	»	»	»	»	»
id. . .	5	1	»	»	»	»	»
id. . .	10	2	»	1	»	»	»
Planches pour graver la musique, etc.	»	5	5	»	»	»	»
id.	»	2,5	7,5	»	»	»	»
id.	64	8	12	»	»	16	»
id.	60	2,5	37,5	»	»	»	»

La fabrication des caractères par estampage ou pression n'est adoptée que dans certains cas, les caractères étant généralement coulés. Les alliages qui se prêtent bien aux coulées sont employés pour certains genres de travaux ornementaux.

Un alliage pour clefs de flûtes et parties similaires dans les instruments de musique consiste en 2 parties de plomb et 1 d'antimoine.

§ **108**. — *Plomb et arsenic.* — L'arsenic s'unit facilement au plomb pour donner des alliages qui sont durs et cassants s'il y a beaucoup d'arsenic. La fusibilité du plomb est augmentée en même temps. On ajoute une petite quantité d'arsenic au plomb pour faire le *plomb de chasse.* On laisse tomber dans l'eau des gouttes de plomb d'une hauteur considérable ; la présence de l'arsenic permet aux grains de prendre la forme sphérique.

Le plomb est fondu dans un creuset en fonte avec de l'oxyde d'arsenic et du charbon de bois. Ce dernier réduit l'oxyde à l'état métallique, et les deux métaux se combinent pour former un alliage. En Angleterre, on emploie 10 parties d'arsenic pour 1100 de plomb. En France, 8 parties d'arsenic sont considérées comme suffisantes pour 1000 parties de plomb. La quantité d'arsenic doit être d'autant plus grande que le plomb est plus pur. S'il y a trop peu d'arsenic, les grains ne sont pas sphériques. Quelques fabricants ajoutent en petite quantité d'autres métaux, comme l'antimoine et le cuivre.

L'alliage fondu est versé dans un bassin percé de trous situé en haut d'une tour, et il est reçu dans de l'eau contenue dans un bassin situé en bas. La grandeur des trous du bassin correspond aux dimensions des grains que l'on veut obtenir, et chaque trou est séparé du voisin de trois fois son diamètre,

pour éviter que deux gouttes de plomb ne viennent se réunir pendant la chute. L'eau doit être fréquemment changée; sans quoi elle s'échaufferait trop. Quelquefois, on met une couche d'huile à la surface de l'eau, le grain prenant alors mieux sa forme sphérique que s'il tombait directement dans l'eau. Pour empêcher l'oxydation du métal lorsqu'on le retire de l'eau, on ajoute une petite quantité (0,25 0/0) de sulfure de sodium à l'eau qui reçoit les grains de plomb; il se forme à la surface de ceux-ci une petite couche de sulfure, de couleur gris foncé, qui n'est pas affectée par l'atmosphère.

A cette méthode de chute, on a substitué un procédé fondé sur la force centrifuge. Le métal est versé, sous forme d'un mince filet, sur un disque tournant rapidement, entouré d'un écran contre lequel les grains sont projetés. L'action centrifuge divise le métal, et les dimensions des grains sont régularisées par la rapidité avec laquelle tourne le disque. Les grains sont arrêtés par l'écran.

M. Smith, de New-York, a imaginé une méthode dans laquelle le métal fondu tombe à travers un courant d'air ascendant, le traversant avec une rapidité considérable; le métal descendant vient au contact de beaucoup de molécules d'air sur une faible hauteur, tout comme dans le cas où il tombe du haut d'une tour élevée.

§ **109.** — *Plomb et fer.* — Ces métaux ne s'allient ensemble qu'en petites proportions, et ils ne forment pas de combinaisons très employées dans les arts. Dans quelques expériences faites par Guettier à Angers en 1848, le plomb, dans la proportion de 2 à 3 0/0, était complètement mélangé avec de la fonte fondue, mais il était presque entièrement oxydé ou rassemblé au fond du moule. La fonte ainsi traitée était plus dure, et ses grains plus unis et sans brillant. Aussitôt que le plomb est introduit dans la fonte fondue, une certaine

agitation apparaît à la surface, et même à travers tout le bain; la fonte semble plus fluide. Guettier ajoute que si l'on doit couler des pièces petites ou grandes, quelques fondeurs jettent du plomb dans le fer fondu pour empêcher le métal de se solidifier trop tôt sur les côtés de la poche de coulage.

Le défaut d'affinité du fer pour le plomb, et inversement, est employé pour séparer le plomb des autres métaux ayant une plus grande affinité pour le fer. D'autre part, le plomb peut être employé pour séparer le fer des autres métaux, comme l'argent, par exemple. Ainsi, lorsque le plomb est ajouté en quantité suffisante à un alliage fondu de fer et d'argent, il se combine à l'argent, et le fer flotte à la surface du bain (1).

§ **110**. — *Plomb et cuivre.* — Ces métaux ne s'unissent pas en toute proportion, et les combinaisons se font plus facilement si le cuivre est en excès. Lorsque le plomb est en excès, le métal se sépare en grande partie du cuivre, ou s'oxyde beaucoup si la température est trop haute. Pour préparer les alliages cuivre-plomb, le cuivre doit d'abord être fondu sous une couche de charbon de bois, puis le plomb est introduit. L'alliage est vigoureusement agité avec une tige de fer pendant quelque temps avant de le verser dans les moules. Si l'on refond l'alliage, l'union des constituants devient plus intime, la couleur plus uniforme, la cassure plus homogène et l'alliage plus fort.

Si le cuivre contient un peu d'argent et un excès de plomb, et s'il est lentement amené à la température de fusion du plomb, ce dernier se liquate entraînant avec lui l'argent et un peu de cuivre. Le cuivre résiduel retient aussi une portion du plomb.

(1) Guettier, *Guide pratique des altiages*, 1865.

Le plomb est fréquemment ajouté à certains alliages de cuivre, destinés à être tournés comme le laiton ; il les rend plus fusibles et plus faciles à travailler. Pour ces alliages, faits sur une grande échelle, dans lesquels on veut introduire du plomb, il est préférable de préparer d'abord un alliage de cuivre et de plomb à parties égales et d'en ajouter une portion à l'alliage cherché, au lieu d'employer du plomb à l'état libre.

Un alliage de 4 parties de plomb et 1 de cuivre a été employé pour couler de grands caractères d'imprimerie.

§ **111**. — *Plomb et manganèse.* — « Lorsqu'un mélange de 892 parties de peroxyde de manganèse et 2789 parties d'oxyde de plomb est chauffé avec du charbon de bois dans un creuset brasqué, on obtient un alliage homogène, compact, malléable, pouvant être laminé en feuilles d'un grand éclat, susceptibles d'être polies (1). »

§ **112**. — *Plomb et bismuth.* — Ces métaux s'unissent par simple fusion, en proportions variables. Les alliages sont malléables et ductiles, tant que la proportion de bismuth n'excède pas celle du plomb ; ils sont aussi plus tenaces que le plomb. D'après Guettier, « l'alliage de 2 parties de bismuth pour 3 de plomb est dix fois plus dur que le plomb pur. Un alliage à parties égales de bismuth et de plomb est plus dur et plus malléable que le plomb. La ductilité et la malléabilité diminuent si on augmente le bismuth. »

Un alliage de 2 parties de plomb et 1 de bismuth est très ductile et très malléable : Berthier indique qu'il fond à 166°C.

(1) Watt, *Dict. of Chem.*, vol. III, p. 534.

CHAPITRE VIII

AMALGAMES.

§ **113**. — Le mercure ou vif-argent s'unit facilement avec les autres métaux, en donnant les *amalgames ;* quelques-uns sont liquides, d'autres sont solides ou demi-solides. Comme cela a déjà été dit, les amalgames solides semblent pour la plupart résulter de l'union des métaux en proportions atomiques, et les amalgames liquides paraissent contenir un composé dissous dans un excès de mercure. Dans tous les cas, le lien d'affinité entre les constituants est relativement faible ; Joule a montré que beaucoup des amalgames contenant des nombres égaux d'atomes des métaux peuvent être partiellement décomposés sous l'effet d'une très grande pression : une partie du mercure est expulsée, et il reste un amalgame contenant une plus grande proportion des autres métaux. Dans beaucoup de cas, les amalgames liquides acquièrent à la longue une forme cristalline, et le mercure en excès se sépare. Le corps cristallisé est l'amalgame vrai, et très probablement un composé chimique défini. Le mercure en petite quantité est utile dans les alliages à points de fusion peu élevés, comme dans le cas des alliages fusibles pour dentistes. Les amalgames d'or et d'argent ont été autrefois très employés pour la dorure et l'argenture (dorure et argenture au feu) : le mercure était volatilisé par la chaleur, laissant un dépôt d'or ou d'argent sur l'objet. Le procédé est

encore employé, lorsqu'on désire avoir une couche durable d'or.

Le mercure s'unit facilement avec le plomb, le zinc, l'étain, le bismuth, le cadmium, le cuivre, l'or, l'argent, le magnésium, le potassium, le sodium. Les métaux suivants se combinent au mercure avec difficulté : fer, nickel, cobalt, manganèse, platine à l'état compact.

§ **114.** — *Amalgame de plomb.* — Cette substance peut être faite en versant le plomb fondu dans le mercure, ou en frottant de la limaille de plomb avec du mercure dans un mortier, au moyen d'un pilon. L'amalgame a une couleur d'un blanc brillant ; il reste liquide jusqu'à 33 0/0 de plomb, mais il salit les doigts. L'amalgame à parties égales peut être cristallisé, et un morceau de plomb plongé dans cet amalgame est recouvert de cristaux, lorsqu'on l'en retire. Cet alliage a un poids spécifique plus élevé que chacun des deux métaux, ce qui indique un phénomène de contraction au moment de la combinaison.

La présence de 0,02 à 0,25 0/0 de plomb améliore le mercure pour la construction des baromètres et des thermomètres ; ce dernier n'a plus une si grande tendance à former des globules à la surface du verre.

§ **115.** — *Amalgame de zinc.*— Le mercure et le zinc s'unissent pour former des alliages cassants, qui deviennent pâteux si le mercure prédomine. Le zinc se combine facilement avec le mercure, quand ce dernier est près de son point d'ébullition, et plus facilement encore si le mercure est mélangé au zinc fondu. L'alliage de 8 parties de zinc et 1 de mercure est très cassant. 1 partie de zinc avec 4 à 5 parties de mercure donnent un amalgame cassant, pulvérulent, employé quelquefois pour les frottoirs des machines électriques ; mais l'addition d'étain est préférable ; Singer recommande 2 parties

de zinc, 1 d'étain et 4 à 6 de mercure. Les feuilles de zinc, employées dans les batteries électriques, sont généralement couvertes avec du mercure ; on nettoie d'abord le zinc avec de l'acide sulfurique dilué, puis on le frotte avec du mercure au moyen d'une brosse ou d'un chiffon.

§ **116**. — *Amalgame d'étain.* — Le mercure et l'étain se combinent à la température ordinaire, et en toutes proportions s'ils sont chauffés, de préférence en ajoutant le mercure à l'étain fondu. Un amalgame de 10 parties de mercure et 1 d'étain est liquide comme le mercure, mais il est moins fluide. Un alliage à parties égales est solide. L'amalgame d'étain a une couleur blanc d'étain, et si le mercure n'est pas en trop grand excès, il est cassant et granulé. La vieille méthode d'argenture des miroirs en plaçant le verre sur une feuille d'étain battu recouverte de mercure est un exemple des applications de l'amalgame d'étain.

Amalgame des dentistes. — L'amalgame d'étain est employé pour obturer les dents. 1 partie d'étain finement divisé est broyée dans un mortier avec 4 parties de mercure. L'excès de mercure est alors enlevé par pression à travers un sac en peau de chamois. On obtient une masse molle qui durcit en quelques jours. Un autre alliage est formé de 2 parties d'étain, une de cadmium et un excès de mercure. L'étain et le cadmium sont fondus ensemble, puis on ajoute le mercure. Le tout est alors versé dans un mortier en fer et bien agité avec un pilon en bois jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la consistance du beurre ; l'excès de mercure est enlevé par pression. L'amalgame est mou et plastique quand il est pétri avec les doigts. Voir aussi *Alliages fusibles*, p. 275.

Un amalgame d'étain, d'or et d'argent est employé comme ciment pour les dents. Une partie d'or et 3 d'argent sont fondues, puis on ajoute une partie d'étain. L'alliage résultant

est pulvérisé à chaud, puis il est bien pétri avec un poids égal de mercure.

Amalgame pour étamage. — Les petits objets en fer peuvent être étamés en les nettoyant dans l'acide sulfurique dilué, les plongeant dans l'amalgame d'étain fondu, les blanchissant dans l'acide dilué, les séchant et les polissant.

§ **117**. — *Amalgame de bismuth.* — Le mercure est capable de dissoudre une quantité considérable de bismuth sans cesser d'être liquide, mais la goutte devient larmeuse et non globulaire comme celle du mercure pur. Un amalgame de 4 parties de mercure et 1 de bismuth peut être employé à la place de l'étain dans l'étamage.

Un amalgame de 3 parties de mercure, 1 de plomb et 1 de bismuth est fluide et a été utilisé pour frauder le mercure. Il passe à travers la peau de chamois comme le mercure pur, mais les gouttes sont larmeuses, ce qui permet de découvrir la fraude. Lucas dit que le mercure contenant seulement 1/8000 partie de bismuth se couvre d'une couche noire lorsqu'il est agité à l'air.

§ **118**. — *Amalgame de cadmium.* — Le cadmium se combine facilement au mercure à froid, mais beaucoup mieux si l'on ajoute le mercure au cadmium fondu. Lorsque le mercure est complètement saturé avec le cadmium, l'alliage correspond à la formule Hg^2Cd (78,26 0/0 de mercure et 21,74 de cadmium). L'amalgame de cadmium est blanc d'étain, cristallin, cassant ; légèrement chauffé, il se ramollit et peut être pétri comme la cire. Il est employé par les dentistes, mais un meilleur alliage contenant de l'étain a été précédemment décrit.

Le *ciment métallique d'Evans* est fait en dissolvant l'amalgame de cadmium (26 de cadmium et 74 de mercure) dans un excès de mercure, et chassant cet excès par pression. Cet

amalgame devient très plastique à la suite d'un pétrissage.

§ **119.** — *Amalgame de cuivre.* — Les amalgames de cuivre sont quelque peu employés dans les arts. Un amalgame contenant 3 parties de cuivre et 7 de mercure devient tout à fait dur au bout de deux ou trois jours. Il a la propriété de se ramollir et d'acquérir la consistance et l'élasticité de l'argile par pétrissage, et de reprendre son état dur et cristallin après quelques heures. Il fut d'abord très employé pour les dents. Sa densité est la même à l'état dur qu'à l'état mou, de sorte qu'il ne se contracte ni ne se dilate par le durcissement, et remplit alors hermétiquement les cavités. Il peut être utilisé pour cacheter les bouteilles, les tubes de verre, etc., et comme ciment pour les métaux.

L'amalgame de cuivre cristallise très facilement. Il peut être martelé ou laminé ; il est susceptible d'un beau poli. Il conserve bien son éclat à l'air, mais il noircit par les composés sulfurés, tels que l'acide sulfhydrique. Il devient mou et flexible dans l'eau bouillante. Les lames de cuivre amalgamé sont très employées pour extraire l'or et l'argent de certains minéraux.

On peut faire l'amalgame de cuivre : 1° en immergeant des feuilles de cuivre dans une solution de nitrate mercurique ; — 2° en agitant le cuivre précipité de sa solution par le zinc, d'abord avec une solution de nitrate mercurique, puis avec du mercure dans un mortier ; — 3° le mercure est mis au contact du pôle négatif d'une batterie et recouvert d'une solution de sulfate de cuivre dans lequel plonge le fil positif ; il se sature de cuivre. La formule chimique donnée à ce composé par Joule est CuHg (63 de cuivre pour 200 de mercure).

Le bronze d'Ironiers consiste en cuivre et étain avec 1 0/0 de mercure.

Un alliage de 86,4 parties de cuivre et 13,6 de mercure

passe pour avoir une couleur jaune d'or et prendre un beau poli.

§ 120. — *Amalgame d'or.* — Le mercure a une grande action dissolvante sur l'or, et il est capable d'en dissoudre une grande quantité sans perdre sa fluidité. Le point de saturation, d'après Guettier, est de 2 parties d'or pour 1 de mercure ; l'alliage acquiert alors une consistance sirupeuse. L'amalgame d'or peut être produit à très basse température en exposant l'or aux fumées de mercure. Une pièce d'or frottée avec du mercure en est immédiatement pénétrée et elle devient excessivement cassante. L'amalgame d'or se dissout dans le mercure en donnant une masse liquide. Lorsque cette solution est filtrée à travers une peau de chamois, le mercure passe à travers entraînant une petite quantité d'or, et il reste un amalgame blanc de consistance pâteuse. L'amalgame saturé d'or, lorsqu'il est fait à chaud et refroid lentement, devient cristallin. En dissolvant une partie d'or dans 100 de mercure, en pressant à travers une peau et traitant le résidu par l'acide nitrique dilué à une température modérée, on obtient un amalgame solide Au^8Hg qui cristallise en prismes quadratiques, conserve son brillant à l'air et ne fond pas, même s'il est chauffé à la température de volatilisation du mercure (1).

Les amalgames liquides obtenus par filtration à travers une peau de chamois contiennent, à la température ordinaire, 0,126 0/0 d'or ; à 0° C., la teneur est 0,118, et à 100° C. 0,650 0/0. Ces amalgames se comportent alors comme des solutions aqueuses. Les résidus provenant de l'attaque par l'acide nitrique des amalgames solides ou liquides ne sont pas homogènes, ce qui prouve qu'il existe probablement des

(1) T. H. Henry, *Phil. Mag.*, (4) vol. IX, p. 468.

composés définis d'or et de mercure dissous dans un excès de mercure. Un alliage d'or et de mercure chauffé à une température un peu inférieure à celle du point d'ébullition du mercure, jusqu'à ce que son poids devienne constant, laisse un amalgame contenant de 10,02 à 10,5 0/0 de mercure, ce qui correspond à la formule $HgAu^9$.

L'amalgame pâteux d'or est la base des divers procédés de dorure des métaux ordinaires par la vieille méthode (dorure au feu). Pour dorer le cuivre, le laiton, 8 à 9 parties de mercure sont mélangées à 1 partie d'or. L'amalgame est préparé en chauffant au rouge, dans un creuset de plombagine, l'or coupé en petits morceaux, puis ajoutant un huitième à un neuvième de son poids de l'amalgame mentionné ci-dessus, préalablement chauffé à son point d'ébullition. Le contenu du creuset est alors bien agité avec une tige de fer et versé dans un grand vase refroidi extérieurement par l'eau. Si l'amalgame refroidissait dans le creuset, ou s'il restait chaud quelque temps après être versé dans le vase, il cristalliserait. L'amalgame cristallin peut cependant être rendu apte au travail en le chauffant dans un creuset avec un excès de mercure.

Les objets destinés à la dorure sont d'abord nettoyés à chaud et décapés par l'acide sulfurique dilué, quelquefois par l'acide nitrique ; ils sont alors plongés dans une solution de nitrate de mercure, et se recouvrent ainsi d'une couche de mercure ; puis on les enduit de l'amalgame pâteux par simple application. Le mercure est ensuite chassé par la chaleur, et la surface dorée est polie. Un mélange de cire d'abeilles, d'ocre rouge, d'acétate de cuivre et d'alun est utilisé pour enlever les dernières traces de mercure et communiquer un aspect plus rougeâtre à la surface. Les objets sont brunis, lavés à l'acide nitrique dilué, puis à l'eau, et enfin séchés.

Un amalgame d'or, en petits cristaux jaunâtres, se rencontre en Californie à l'état natif ; sa formule est Au^2Hg^3 (39,02 à 41,63 0/0 d'or ; 60,98 à 58,37 0/0 de mercure). Un amalgame d'or et d'argent, en petits cristaux blancs, se trouve en Nouvelle-Grenade ; il contient 38,59 d'or, 5 d'argent et 56,4 de mercure.

§ **121.** — *Amalgame d'argent.* — L'argent et le mercure s'unissent lentement à la température ordinaire, mais beaucoup plus vite au rouge. L'affinité de ces métaux l'un pour l'autre est presque la même que celle du mercure pour l'or, mais avec une plus grande tendance à la cristallisation. L'amalgamation est d'autant plus rapide que l'argent est plus finement divisé. L'argent précipité de ses solutions par le zinc métallique, lavé et séché, est très convenable pour cette opération. Si de l'argent ainsi préparé est projeté dans un creuset chaud contenant du mercure, la combinaison se produit rapidement. En passant le produit dans une peau de chamois, le mercure libre s'échappe, et il reste un amalgame blanc, qui est mou.

L'amalgame d'argent peut être préparé en ajoutant du mercure à une solution de nitrate d'argent ; il se précipite sous une forme cristalline (*arbre de Diane*). La solution d'argent doit être quelque peu acide, et pas trop concentrée. Joule donne la formule Ag^2Hg, comme composition moyenne de cet amalgame. Si on fait intervenir l'action du courant électrique, on obtient un amalgame plus riche en argent.

Selon sa composition et son mode de formation, les caractères de l'amalgame varient : il est mou, granulé ou cristallin. L'amalgame mou, obtenu par l'union des deux métaux, fut d'abord employé pour argenter les objets d'une manière analogue à celle décrite pour la dorure. Un composé natif, appelé *amalgame*, et ayant la composition Ag^2Hg^2 ou Ag^2Hg^3,

se trouve à l'état cristallisé, quelquefois en masses. Un autre amalgame, l'*arquerite*, se rencontre au Chili ; sa formule est Hg^6Ag^2 ; il contient 13,5 d'argent et 86,5 de mercure.

§ **122.** — *Amalgame de magnésium* (1). — Cet amalgame se forme lentement par le contact du mercure avec le magnésium pur, à froid, mais plus rapidement au point d'ébullition du mercure. Dans cet amalgame, les affinités du magnésium sont exaltées. Un amalgame contenant 0,5 0/0 de magnésium se gonfle instantanément au contact de l'air et perd son brillant ; il décompose l'eau facilement. L'amalgame de magnésium peut aussi être préparé en recouvrant de l'amalgame de sodium avec une solution de sulfate de magnésium.

§ **123.** — *Amalgame de sodium.* — Le sodium se combine rapidement au mercure aux températures ordinaires, la combinaison ayant lieu avec un bruit strident et une vive incandescence. Un morceau de sodium jeté vigoureusement sur du mercure est projeté en dehors du vase avec explosion, à cause de la grande chaleur produite. L'amalgame de sodium peut être préparé en fondant le sodium sous le pétrole, et introduisant le mercure à travers un tube de verre étroit. On obtient un amalgame solide blanc d'argent qui doit être gardé sous le pétrole pour éviter l'oxydation du sodium. L'amalgame de sodium est aussi préparé en triturant les deux métaux ensemble dans un mortier sec, fermé par un couvercle jusqu'à ce que la réaction cesse. Avec 30 parties de mercure et 1 de sodium, il est assez dur sous la lime et montre une cassure cristalline. Avec 40 parties de mercure et 1 de sodium, l'amalgame est encore solide, mais plus mou que le précédent. Avec 60 parties de mercure et 1 de sodium, il forme une pâte dure à 21° C. ; 100 parties de mercure pour 1 de sodium pro-

(1) *Chem. Soc.*, vol. IV, p. 141.

duisent une masse visqueuse ; 128 parties de mercure pour 1 de sodium donnent un amalgame liquide.

L'amalgame de sodium est employé pour la préparation des autres amalgames. Les chlorures métalliques, comme ceux d'argent et d'or par exemple, sont décomposés par l'amalgame de sodium, et le métal réduit s'unit alors au mercure. Les métaux qui ne s'unissent pas directement au mercure peuvent être amalgamés par l'action de l'amalgame de sodium sur certaines solutions salines. Ainsi l'amalgame de fer est obtenu par immersion de l'amalgame de sodium, contenant 1 0/0 de sodium, dans une solution limpide saturée de sulfate ferreux.

L'amalgame de sodium est employé, au lieu du mercure. pour l'extraction de l'or et de l'argent de leurs minerais. Il facilite l'amalgamation, en évitant la formation d'oxyde, de sulfure, d'arséniure de mercure ; ces composés couvriraient en effet le mercure d'un enduit, empêchant ainsi son contact avec l'or ou l'argent.

§ **124**. — *Amalgame de potassium.* — Le potassium se combine au mercure avec grande violence à la température ordinaire ; il forme des amalgames dont les propriétés sont similaires à celles des amalgames de sodium.

CHAPITRE IX

ALLIAGES D'OR.

§ **125**. — Les propriétés qui rendent l'or si important dans les arts ont déjà été mentionnées dans l'introduction de cet ouvrage, et l'on a montré que ce métal est amélioré pour certains usages en l'alliant à certains autres métaux comme le cuivre, l'argent, en petites quantités. La grande valeur de l'or est, dans beaucoup de cas, la raison pour laquelle la proportion du métal ajouté doit être faible. Beaucoup de métaux ne diminuent pas seulement la valeur de l'or, mais modifient aussi ses propriétés en diminuant plus ou moins sa grande malléabilité et sa grande ductilité ; d'autres le rendent impropre à certains usages. Sauf quelques exceptions, on peut dire que plus la valeur d'un métal est grande, plus grande aussi doit être la proportion de ce métal dans l'alliage.

En raison de sa haute valeur intrinsèque, l'or peut être considéré comme le plus parfait de tous les métaux ; mais il faut, pour la fabrication des monnaies, médailles, bijoux, etc., lui donner un plus grand degré de dureté que celui qu'il possède seul. L'argent et le cuivre sont les métaux invariablement employés pour cet usage ; additionnés en petite quantité, ils n'altèrent pas notablement la malléabilité ni les autres qualités de travail de l'or ; ils augmentent sa fusibilité. Les remarques ci-dessus ne sont vraies que si l'argent et le cuivre employés sont pratiquement purs ; une petite quantité

de plomb, d'arsenic, d'antimoine, etc., dans le cuivre réduirait considérablement la malléabilité et la ductilité de l'alliage.

Lorsque l'or est pur, ou à peu près pur, comme il peut être obtenu pour les usages commerciaux, il est communément dit *or fin* ou or-24 carats, la livre ou 1000 parties étant divisée en 24 parties égales. Ainsi l'or-22 carats signifie que dans 24 parties, il y en a 22 d'or pur et 2 d'autres métaux. L'or-9 carats contient 9/24 d'or et 15/24 d'autres métaux. Le métal ou les métaux alliés à l'or sont techniquement appelés l'*alliage*. Le tableau suivant (1) donne la valeur relative des différents carats, et la quantité d'alliage devant être ajoutée, en prenant 24 comme unité d'or pur, et le prix d'achat de la Monnaie 25 shillings par once, soit 106 fr. 25 pour 31 gr. 103.

QUALITÉ	£ S. D.	ALLIAGE AJOUTÉ
24 carats	4 5 0	»
23 id.	4 1 5 1/2	1 carat
22 id.	3 17 11	2 id.
21 id.	3 14 4 1/2	3 id.
20 id.	3 10 10	4 id.
19 id.	3 7 3 1/2	5 id.
18 id.	3 3 9	6 id.
17 id.	3 0 2 1/2	7 id.
16 id.	2 16 8	8 id.
15 id.	2 13 1 1/2	9 id.
14 id.	2 9 7	10 id.
13 id.	2 6 0 1/2	11 id.
12 id.	2 2 6	12 id.
11 id.	1 18 11 1/2	13 id.
10 id.	1 15 5	14 id.
9 id.	1 11 10 1/2	15 id.
8 id.	1 8 4	16 id.
7 id.	1 4 9 1/2	17 id.
6 id.	1 1 3	18 id.
5 id.	17 8 1/2	19 id.
4 id.	14 2	20 id.
3 id.	10 7 1/2	21 id.
2 id.	7 1	22 id.
1 id.	3 6 1/2	23 id.

(1) Streeter, *Gold*, p. 138.

Le prix de l'or fin des affineurs est un peu plus élevé que celui de la Monnaie, d'environ 1 fr. 25 par 31 gr. 103 pour une fois cette quantité, et proportionnellement moins pour de plus grandes quantités. On voit donc que le coût de la matière première pour le fabricant ne peut pas être calculé uniquement d'après la quantité d'or que l'alliage contient, et il faut tenir compte de la quantité d'alliage ajoutée, ce qui a son importance quand on emploie beaucoup d'argent. Prenons l'or-18 carats par exemple. Le prix donné dans le tableau est £ 3 : 3 : 9 ; le prix de l'affineur serait £ 3 : 4 : 3; et comme les six parties de l'alliage consistent en parties égales de cuivre et d'argent son coût serait 9 d. De cette façon, l'alliage 18 carats coûte £ 3 : 5 s., par once, avant d'être transformé en objets divers.

§ **126**. — *Cuivre et or.* — Ces métaux s'allient bien ensemble en toutes proportions ; si le cuivre n'excède pas 10 à 12 0/0, la malléabilité est peu altérée ; c'est-à-dire que les ors-21 carats et au-dessus sont pratiquement aussi malléables que l'or pur. Beaucoup d'alliages ont une densité moindre que la moyenne de celle des métaux séparés. La monnaie d'or de cette contrée est faite d'or-22 carats (916,6 parties d'or pour 83,3 de cuivre) : c'est l'*or au titre*.

L'or au titre est très employé pour la fabrication des anneaux de fiançailles.

Les fabricants avaient autrefois à payer un droit de 17 s. par once, une remise de un sixième leur étant faite pour la perte dans le finissage. Les anneaux de fiançailles de cette qualité doivent être poinçonnés, et ceci est exigé avant que les anneaux soient finis, de sorte que, pour 6 onces, le fabricant a payé pour 5 onces. Les anneaux de deuil, les boîtiers de montre, etc., sont quelquefois de la même qualité. L'alliage de 20 parties d'or et quatre parties de cuivre, appelé *or brun*,

est quelquefois employé par les joailliers pour des motifs décoratifs.

Les alliages or-cuivre, employés pour les monnaies, sont généralement considérés comme homogènes ; mais depuis quelques années, des doutes ont été émis par M. Booth, de la Monnaie des États-Unis. De nombreux renseignements à ce sujet ont été obtenus par l'étude d'une feuille d'or au titre, préparée à la Monnaie royale en 1873. Une masse d'or au titre pesant environ 2250 gr. fut coulée et laminée en une planche de 95 cm. de long et 16 cm. 5 de large ; on en coupa différentes portions et on les essaya. La plus grande variation entre deux essais fut 2/10000.

Le professeur Roberts-Austen (1) a fait les expériences suivantes pour trancher la question de la liquation des alliages d'or. Un lingot, consistant en 984,7 parties d'or et 15,3 d'argent, fut fondu et coulé dans un moule sphérique. De cette sphère d'or, on détacha un disque de 9 mm. environ d'épaisseur, qui pesait 965 gr. Il fut alors laminé dans deux directions perpendiculaires; des fractions en furent détachées et essayées. Le résultat de 82 essais ne prouva nullement un nouvel arrangement systématique ; car, bien qu'il eût semblé y avoir un enrichissement vers les parties supérieures (8/100000), ces petites différences existant dans des essais faits sur du métal pris dans des mêmes plans horizontaux, ne pouvaient pas être regardées comme dues à quelque nouvelle distribution définie du métal. On doit considérer comme prouvé que l'or de haut titre, ainsi que l'argent, ne montre aucune tendance à rejeter pendant la solidification le métal usuel auquel il est associé. M. Péligot (2) a publié les résultats d'un travail qui conduit aux mêmes conclusions.

(1) Rapport annuel du directeur de la Monnaie, 1881.
(2) *Bull. Soc. Encouragement*, t. IV, 1889, p. 171.

§ **127**. — *Or et argent.* — Ces métaux s'unissent en toutes proportions, mais ils ne semblent pas former de combinaisons chimiques vraies. Levol regarde le produit de l'union de ces métaux en proportions équivalentes comme étant incapable de se séparer par un refroidissement graduel. Les alliages d'or et d'argent sont plus durs, plus tenaces et plus fusibles que l'or, plus sonores et élastiques que chacun des métaux pris isolément. Un douzième d'argent est suffisant pour modifier la couleur de l'or ; ce procédé est employé par les joailliers pour communiquer différents aspects à l'or ; 27 à 30 0/0 d'argent et 73 à 70 d'or donnent un alliage vert. Si la proportion excède 50 0/0, les alliages sont presque blancs. L'aspect jaune verdâtre des souverains faits à la Monnaie de Sydney (Australie) est dû à ce que le métal allié est de l'argent, et non du cuivre, comme dans le souverain anglais. Les monnaies d'or d'Australie ont cependant le même titre, le même poids et la même valeur que les monnaies anglaises. Les alliages or-argent ne s'oxydent pas à l'air.

§ **128**. — *Or, argent et cuivre.* — Ces trois métaux sont très employés par les joailliers pour faire des alliages plus tenaces, plus malléables et plus ductiles, que si l'on employait l'or seul. L'alliage ajouté à l'or pour faire les vieilles guinées anglaises consistait en parties égales de cuivre et d'argent. La guinée est de même titre que le souverain, mais elle diffère comme poids. Elle pèse 8 gr. 3925, et le souverain un peu plus de 7 gr. 984 ; ces monnaies contiennent respectivement 7 gr. 5879 et 7 gr. 3228 d'or fin. Les guinées ne sont pas acceptées dans la circulation pendant le présent règne.

Gee donne dans le tableau suivant les proportions de cuivre, d'argent et d'or employées dans les alliages de joaillerie (1) :

(1) *Goldsmith's Handbook*, p. 41, 52.

Carats	Cuivre	Argent	Or
23	1/2	1/2	23
22	1	1	22
20	2	2	20
18	3	3	18
15	6	3	15
13	8	3	13
12	8 1/2	3 1/2	12
10	10	4	10
9	10 1/2	4 1/2	9
8	10 1/2	5 1/2	8
7	9	8	7

De l'or-18 carats, Gee dit « que s'il est coulé convenablement, il est malléable et tenace ; il est aussi excessivement ductile. On communique à cet alliage une certaine dureté, car il convient admirablement pour la joaillerie. Il y a peut-être, pour fabriquer l'or 18 carats, une difficulté que l'on n'a pas avec les autres alliages. » L'opinion générale est que le manque occasionnel de cohésion est dû au cuivre employé ; en se servant de la variété de cuivre la plus pure, on diminue les difficultés du travail. Le meilleur alliage semble être celui donné dans le tableau précédent, car en augmentant la quantité d'argent, la couleur de l'alliage se modifierait.

L'or-15 carats est aussi très employé pour les objets devant être *couleur d'or*. La coloration est obtenue en enlevant le cuivre de l'extérieur par des solvants appropriés, et laissant alors la surface avec un aspect semblable à celui de l'or pur. On peut arriver même à une ressemblance parfaite avec l'or pur. Il est facile à travailler, et les 9 parties d'alliage donnent aux objets la résistance et la dureté nécessaires pour résister à l'usure et conserver leur forme s'ils sont employés à des usages variés. Cet alliage peut être *Hall-marked* comme

preuve de sa bonne qualité. Gee (1) prévient les acheteurs d'or-15 carats contre une qualité inférieure d'or introduite sur le marché, et appelée 15 carats ; elle porte un poinçon semblable au *Hall-mark* ; ce n'est cependant pas le *Hall-mark*, mais la marque privée d'un fabricant.

L'or-12 1/2-13 carats est très employé pour faire toutes espèces de bijoux. C'est la qualité la plus inférieure qui puisse être soumise aux procédés de coloration et conserver une apparence riche et uniforme sans montrer d'irrégularités à sa surface. Les articles d'or coloré appelé 15 carats, mentionné ci-dessus, étaient d'abord fabriqués avec cette qualité.

L'or-12 carats est réputé en joaillerie comme le meilleur des *ors clairs*. Ce sont des qualités qui ne peuvent pas être convenablement colorées et montrent alors les couleurs vraies des alliages avec lesquels on les compose ; elles n'ont pas la surface d'un métal noble comme dans le cas des objets d'or coloré, ceux-ci ayant un plus riche aspect et étant alors beaucoup plus demandés. L'or-12 carats, fait d'après les proportions indiquées dans le tableau, est malléable, ductile, assez mou, de sorte qu'il se travaille bien. Il peut être *Hall-marked*, comme garantie de sa pureté.

L'or-10 carats est semblable au 12-carats, quant aux propriétés physiques ; mais la couleur est différente, à cause des proportions différentes des métaux constituants. Cette qualité n'est pas *Hall-marked*.

L'or-9 carats est employé pour faire presque tous les articles de joaillerie, et il est susceptible d'être *Hall-marked*. La qualité la plus employée est quelque peu inférieure à l'échantillon type, celui-ci étant l'extrême limite qui résistera à un essai par l'acide nitrique sans montrer les traces de l'attaque.

(1) *Goldsmith's Handbook*, p. 46.

Gee (1) dit que « l'or-9 carats, dont la composition a été indiquée dans le tableau précédent, pourra être travaillé par les mains de l'ouvrier, retiré du four à recuire étant encore rouge, sans inconvénient pour les transformations ultérieures ; il pourra aussi être immergé, à n'importe quelle température, dans les acides et dans l'eau ; mais nous ferons l'objection suivante à l'immersion continuelle des alliages d'or après chaque recuit : chaque fois que le métal est mis dans l'acide sulfurique, une portion du métal usuel, dans ces qualités inférieures, est dissoute ».

Les alliages-9 carats sont quelquefois alliés au zinc en petite quantité ; mais ce dernier doit être employé avec parcimonie, car les alliages deviennent durs, cassants, difficiles à travailler, et bien plus, facilement attaquables par les acides.

L'or-8 carats et les qualités inférieures sont plus durs et exigent plus de soin pour être travaillés que les alliages plus riches. Ils sont très aptes à devenir aigres et à se rompre, à moins qu'ils n'aient été soigneusement recuits à des températures convenables. L'or-8 carats peut être fait pour résister à l'essai des acides en employant plus d'argent qu'il n'est indiqué dans le tableau ; mais l'alliage est plus pâle. Cette qualité se travaille bien si elle est dans les mains d'un ouvrier habile.

§ **129**. — *Or, argent, cuivre et zinc.* — Il a déjà été mentionné que le zinc était quelquefois employé dans les alliages d'or pour joaillerie. Il est généralement utilisé sous la forme d'un laiton, appelé *composition* ; les proportions varient avec les fabricants ; le type peut être représenté comme contenant 2 parties de cuivre pour 1 de zinc. L'effet du zinc sur l'or

(1) *Goldsmith's Handbook*, p. 48.

est d e le durcir et dele rendre cassant. Un alliage de 11 parties d'or et de 1 de zinc ressemble au laiton jaune pâle comme couleur ; il ne ternit pas à l'air. Gee indique 17 0/0 de zinc comme quantité maximum pouvant être introduite sans inconvénient. Lorsque l'argent, dans les alliages des joailliers ordinaires, est partiellement remplacé par la composition, l'alliage semble avoir une couleur plus foncée ; il ressemble à un métal plus riche en or, mais il est plus difficile à travailler et plus apte à changer de couleur, ceci dépendant bien entendu de la quantité de composition employée (Voir aussi soudures d'or, p. 325).

§ **130.** — *Or et étain.* — Ces métaux se mélangent en toutes proportions, formant, dans la plupart des cas, des alliages cassants. Guettier dit que si l'étain n'excède pas 8 0/0, les alliages sont assez ductiles. La couleur est jaune pâle ou blanche suivant la quantité d'étain présent. Comme dans les alliages d'or et de zinc, il y a contraction dans l'union des deux métaux, c'est-à-dire que le poids spécifique de l'alliage est plus grand que la moyenne de ceux des constituants.

§ **131.** — *Or et plomb.* — Ces métaux s'unissent facilement, en toutes proportions, donnant des alliages très cassants, plus durs et plus faibles que l'or, sans aucune utilité dans les arts. 1/2000 de plomb fondu avec l'or monnayé donne un alliage qui, coulé sous forme de barre, peut être brisé avec un léger coup de marteau ; la couleur est aussi changée en brun orange, et les expériences ont montré que la ténacité du métal est réduite de 28 kg. 3 à 7,9 par mm^2. Tous les alliages d'or et de plomb se dilatent au moment de l'union des métaux ; on a le maximum s'il y a du cuivre et très peu de plomb. La dilatation la plus grande, d'après Guettier, a lieu s'il n'y a que 0,001 de plomb. Un alliage de 11 parties d'or pour 1 de plomb a la couleur de l'or et la fragilité du verre.

§ **132**. — *Or et bismuth.* — Ces métaux s'allient bien ensemble, en proportions variées, formant des corps ressemblant au laiton ; s'il y a excès d'or le bismuth rend l'or dur et cassant.

§ **133**. — *Or et antimoine.* — L'antimoine a une très grande affinité pour l'or ; il le dissout rapidement. L'or fondu dissout la vapeur d'antimoine, et si ce métal est en très petite quantité dans l'or, il le rend cassant. Un alliage de 9 parties d'or et 1 partie d'antimoine est blanc, aigre et a une cassure granulée, 1/2000 d'antimoine rend l'or cassant et modifie beaucoup sa malléabilité. L'antimoine peut être chassé de l'or par la chaleur.

§ **134**. — *Or et arsenic.* — L'arsenic, comme l'antimoine, se combine facilement à l'or, et en petite quantité, il est également mauvais. Les alliages sont blanc d'argent s'il y a beaucoup d'arsenic, durs, plus fusibles que l'or et très cassants.

§ **135**. — *Or et fer.* — Le fer en petite quantité est quelquefois ajouté aux alliages d'or pour les objets ornementaux, afin de leur communiquer une teinte particulière. L'or et le fer se combinent en toute proportion, le premier augmentant la fusibilité du dernier. En petite quantité, l'or ne semble pas modifier les qualités du fer. Guettier dit qu'un alliage à parties égales d'or et de fer est blanc grisâtre, cassant et faiblement magnétique. L'alliage contenant 1/12 de fer est jaune pâle ; il devient jaune-grisâtre lorsque le fer atteint la proportion de 1/6 ; cet alliage est désigné par quelques joailliers sous le nom d'*or gris*. Gee donne 18 parties d'or et 6 de fer comme les proportions de l'*or bleu*. Pour ce dernier alliage, il indique que l'or doit d'abord être fondu, puis on introduit successivement le fil de fer en petits morceaux. Lorsqu'il est coulé, il doit être martelé sur la tranche et recuit pour lui donner un grain plus serré et éviter les craquelures lors du

laminage. Ce procédé peut être sagement répété sur la surface, et le lingot recuit à nouveau. L'alliage peut alors sans danger être forgé en fils ou en lames.

§ 136. — *Or et platine.* — Ces métaux s'unissent pour former des alliages ductiles et élastiques, mais ils demandent une température élevée pour que la combinaison s'effectue, à cause du haut point de fusion du platine. Cette condition, ajoutée à l'effet qu'a le platine de rendre plus pâle la couleur de l'or, limite considérablement l'application de ces alliages dans la joaillerie. Le platine cependant, comme l'or, n'est pas attaqué par l'acide nitrique, ni par l'atmosphère. Un alliage de 7 parties de platine et 3 d'or est infusible dans les hauts-fourneaux les plus chauds ; avec une plus grande proportion d'or, il y a fusion ; 2 parties de platine et 1 d'or donnent un alliage cassant, 1 partie de platine et 1 d'or forment un alliage malléable, d'une couleur d'or pâle. Clarke dit qu'un alliage de 9,6 parties d'or et de 1 de platine a la couleur de l'or et la densité du platine.

Il est bien connu que dans les alliages or-platine certaines portions des constituants se séparent et se concentrent, soit dans le centre, soit dans les portions externes de la masse solidifiée. M. Edward Matthey a étudié cette question (1) ; il a coulé l'or contenant le platine dans un moule sphérique en fer, de 75 mm. de diamètre, et il a coupé le métal ainsi obtenu par la moitié. La contraction a été si grande que les sphères ont dû être coulées plusieurs fois. Des portions furent alors prises sur différentes parties des sphères et essayées.

A composé de 880 parties d'or et 50 de platine environ
B — 700 — 120 —

(1) *Proc. Roy. Soc.*, 13 février 1890.

Dans la sphère A, la différence maxima dans le pourcentage de l'or est une variation de 3,2 (887 à l'extérieur et 883,8 au centre) ; il y avait 47,5 de platine à l'extérieur contre 52,5 au centre, l'extrême variation étant 5.

Dans la sphère B, la différence maxima dans le pourcentage de l'or est une variation de 38,5 (732,4 à l'extérieur et 694,1 au centre) ; il y avait 122 de platine à l'extérieur contre 166 au centre, l'extrême variation étant 44.

Ces résultats montrent d'une manière indiscutable que *la platine se liquate pendant le refroidissement, et qu'il se concentre vers le centre de l'alliage.*

Les expériences précédentes ont été faites sur des alliages or-platine contenant de l'argent et du cuivre. Afin de prouver qu'une liquation semblable a lieu avec les alliages contenant de l'or et du platine seuls, 900 parties d'or pur et 100 de platine pur ont été fondus et coulés comme ci-devant. L'analyse a montré que l'extérieur contenait 900 parties d'or et 98 de platine contre 845 d'or et 146 de platine au centre de la sphère.

§ **137**. — *Or et palladium.* — Quelques alliages de ces métaux ont été faits, la combinaison ayant lieu avec incandescence ; 1 partie de palladium et 4 d'or donnent un alliage gris, ayant la couleur du fer forgé, moins ductile que chacun des composants ; la cassure est grossièrement granulée. 1 partie de palladium et 4 parties d'or forment un alliage blanc, dur, ductile, 1 partie de palladium et 6 d'or donnent un alliage presque blanc. Les alliages d'or, d'argent, de cuivre et de palladium ont été employés dans la fabrication des bonnes montres ; leur couleur est rouge-brunâtre ; ils sont aussi durs que le fer, ne se rouillent point et offrent le minimum de frottement. Les nombres suivants correspondent à un alliage typique pour montres :

Or.	37,5
Cuivre	27,1
Argent.	22,9
Palladium	12,5

Berzelius a analysé un alliage natif de Porpez, contenant 85,98 d'or, 9,85 de palladium et 4,17 d'argent pour cent.

§ **138**. — *Or et aluminium.* — Un alliage d'or, de cuivre et d'aluminium, connu sous le nom d'or de Nüremberg, est employé dans la fabrication des objets d'or bon marché. Sa couleur ressemble à celle de l'or, et on le dit inaltérable à l'air.

§ **139**. — *Ors colorés.* — Les joailliers et les orfèvres emploient une variété d'alliages d'or pour l'ornementation, pour produire différents aspects colorés dans un même objet. Par exemple, le rouge et le blanc sont employés pour les fleurs, le vert pour les feuilles, le jaune pour les branches, le bois, etc.

Le tableau suivant donne la composition centésimale des alliages les plus employés :

COULEUR	Or.	Argent.	Cuivre.	Fer.	Platine.	Cadmium
Blanc	»	100	»	»	»	»
id.	»	»	»	»	100	»
Gris	85,7	8,6	»	5,7	»	»
id.	83,3	»	»	16,7	»	»
id.	72,5	27,5	»	»	»	»
Vert	75	25	»	»	»	»
id.	75	16,6	»	»	»	8,4
id.	74,6	11 4	9,7	»	»	4,3
id.	75	12,5	»	»	»	12,5
Jaune pâle	91,67	8,33	»	»	»	»
id.	91,67	»	»	8,33	»	»
Très pâle	50	50	»	»	»	»
Jaune	100	»	»	»	»	»
Jaune foncé	90	»	10	»	»	»
id.	53	25	22	»	»	»
Rouge	75	»	25	»	»	»
Rouge sombre	50	»	50	»	»	»
id.	25	»	75	»	»	»
Bleu	75	»	»	25	»	»
id.	66,7	»	»	33,3	»	»
Or bleu japonais	1 à 10	»	99 à 90	»	»	»

Les précautions nécessaires pour les alliages d'or contenant du fer ont été indiquées plus haut (V. p. 310). Il n'y a pas de remarque spéciale pour les alliages or-argent-cuivre. Les alliages contenant du cadmium, donnés dans le tableau ci-dessus, sont malléables et ductiles. On pourrait croire que le cadmium étant un métal volatil comme le zinc, on doit l'ajouter après que les autres métaux ont été fondus sous une couche de charbon de bois. La réussite dépend beaucoup de la rapidité avec laquelle on l'ajoute, et l'incorporation parfaite dépend aussi de la vigueur avec laquelle les métaux sont vivement agités, de préférence avec une tige de charbon. Dans chaque cas, il se volatilise un peu de cadmium, et on doit en mettre un peu plus que la quantité requise pour compenser la perte. Le terme *ors colorés* mentionné en tête du paragraphe ne se rapporte pas aux procédés chimiques de coloration qui seront indiqués plus loin.

§ **140**. — *Or monnayé.* — Dans beaucoup de contrées, il

y a des alliages d'or ayant un certain degré de pureté fixé par la loi, et employés comme échantillons nationaux de valeur pour les monnaies. Presque tous consistent en or et cuivre, ce dernier étant ajouté pour permettre à l'or de résister à l'usure. Malgré l'effet du métal ordinaire, les monnaies s'usent beaucoup si elles sont fréquemment utilisées, ce qui diminue leur poids. Un souverain anglais pèse 7 gr.988 et reste en cours jusqu'à ce qu'il ait atteint 7 gr. 938, la différence entre ces deux poids étant la tolérance permise par la loi anglaise pour la perte par usure.

A côté du titre pour monnaies, il y a aussi un poids légal, fixé d'après les règlements de la Monnaie royale. 373 gr. 24 d'or monnayé valent 1168 fr. 60, et si une personne prenait 373 gr. 24 d'or monnayé à la Monnaie pour être transformé, elle recevrait 1168 fr. 75 en échange, sans avoir aucun excès de dépense pour la fabrication. Ainsi, l'or monnayé contient nominativement et d'une manière intrinsèque sa pleine valeur en or. Le monnayage est conduit avec une grande précision par les employés de la Monnaie, eu égard au poids, et l'extrême soin avec lequel ils travaillent ressort du tableau suivant :

Monnaie.	Poids en grammes	Tolérance en grammes
Souverain	7 gr. 988	0,01296
Demi-souverain	3 gr. 994	0,00648

La tolérance, respectivement de 0 gr. 01296 et 0 gr. 00648, est la différence permise par le directeur de la Monnaie entre le poids légal et le poids réel des monnaies fabriquées ; il faut qu'elle reste toujours dans les limites précédentes.

Le titre anglais pour les monnaies d'or est l'or-22 carats, ou 916,666 parties d'or et 83,333 de cuivre pour mille, la tolérance étant 0,002 ou 1/500 d'un grain. La vieille guinée a le même titre que le souverain, mais elle contient un peu d'argent et moins de cuivre.

Les titres des monnaies d'or des différents pays sont donnés dans le tableau suivant :

NOMS	OR POUR 1000	CARATS
Egypte, Mexique, Espagne, Iles Philippines	875	21
Vieilles monnaies allemandes (pistoles)	895	21,5
Monnaies allemandes		
Couronnes autrichiennes		
Monnaies françaises		
» belges		
» italiennes		
» suisses	900	21,6
» espagnoles		
» grecques		
» des Etats-Unis		
» japonaises		
» chinoises		
» russes nouvelles		
Or prussien de Frédéric	902	21,65
Monnaies anglaises		
» portugaises	916,6	22
» turques		
» brésiliennes		
Ducats hollandais	982	23,57
» autrichiens	986	23,66
» hongrois	989	23,74

Antérieurement au règne de Charles II, toutes les monnaies étaient faites à la main. On forgeait les lingots d'or avec l'épaisseur requise, puis on les coupait en morceaux un peu plus larges que les dimensions ne l'exigeaient. Les coins étaient ensuite enlevés, et les pièces arrondies à leurs vraies dimensions, lorsqu'elles avaient le poids requis pour être mises en circulation. Les pièces ainsi obtenues étaient placées entre des coins d'acier contenant le modèle de la monnaie ; le coin supérieur était alors frappé avec un marteau pour produire l'impression.

Les différents alliages employés par les joailliers en Angleterre ont déjà été indiqués. En France, on reconnaît l'or

18, 20 et 22 carats ; en Allemagne, l'or-18, 14, 8 et 6 carats ; ce dernier, appelé *or joujou*, est employé pour la dorure galvanique. L'Autriche a trois titres légaux : n° I, 326 0/0 ; n° II, 545 ; n° III, 767.

Objets d'or de Pforzheim (Allemagne).

Objets ordinaires (joujou).	130 à 250 parties d'or p. 1000
Qualité plus fine.	563 —
Qualité extra-fine	583 à 750 —

§ **141**. — Depuis l'introduction du système décimal, la méthode d'exprimer le titre des alliages d'or en millièmes s'est graduellement répandue. Sa simplicité, par rapport au système des carats et des grains, la recommande. Le carat contient 4 grains. Le tableau suivant donne la correspondance des carats avec les millièmes :

1 grain	=	10,414	11 carats	=	458,630
2 »	=	20,828	12 »	=	500,000
3 »	=	31,242	13 »	=	541,667
4 »	=	41,66	14 »	=	583,333
1 carat	=	41,667	15 »	=	624,555
2 »	=	83,334	16 »	=	666,667
3 »	=	125,001	17 »	=	707,333
4 »	=	166,667	18 »	=	750,000
5 »	=	208,333	19 »	=	791,666
6 »	=	250,000	20 »	=	833,333
7 »	=	291,666	21 »	=	874,999
8 »	=	333,333	22 »	=	916,666
9 »	=	374,999	23 »	=	958,333
10 »	=	416,667	24 »	=	1000,000

Préparation des alliages d'or.

§ **142**.— L'or et l'argent, tels qu'ils sont achetés, sont suffisamment purs dans la plupart des cas pour les besoins du manufacturier. Différentes espèces de cuivre sont employées, mais dans tous les cas, ce métal doit être d'excellente qualité. Les impuretés que l'on rencontre le plus souvent sont le fer, l'arsenic, l'antimoine, le soufre ; ces trois derniers corps sont spécialement nuisibles. Les personnes utilisant le cuivre pour alliage doivent spécifier que ces éléments sont absents, ou seulement en très petites quantités. L'arsenic et le soufre sont beaucoup plus communément présents que l'antimoine. Le Dr A. S. Taylor dit qu'il a trouvé de l'arsenic dans environ 40 échantillons de cuivre, employés sous la forme de fils, lames, toiles, etc. (1). Il indique plus loin qu'il en a également rencontré dans deux échantillons de cuivre électrolytique. Il ne semble pas avoir examiné du cuivre *best-selected*. Il ajoute enfin que maintenant les meilleures qualités de cuivre commercial sont supérieures à celles faites il y a quarante ans.

L'or et ses alliages doivent être fondus dans de bons creusets en plombagine qui, s'ils ont été soigneusement recuits dans la position retournée avant leur emploi, peuvent servir un grand nombre de fois. Le creuset doit être couvert. Un creuset neuf doit être garni intérieurement avec de la poudre de charbon de bois, afin d'éviter toute adhérence des particules métalliques. Quelques joailliers considèrent comme un point essentiel la manière dont les métaux sont placés dans le creuset ; il est convenable de mettre l'or par dessus à cause de sa non-oxydation ; il protège ainsi le cuivre, surtout s'il

(1) *Recherches sur l'arsenic, l'antimoine*, etc., p. 28.

est recouvert d'une couche de charbon de bois. Lorsque le zinc est un des constituants de l'alliage, ce métal doit être ajouté lorsque les autres métaux sont fondus, à cause de sa nature volatile. Lorsque le tout est fondu, on agite vigoureusement avec une tige de fer, préalablement chauffée au rouge, afin de provoquer une union plus intime des composants de l'alliage. Le métal est alors prêt à verser dans le moule, si la température convenable a été atteinte.

Les alliages d'or sont coulés soit dans des moules en fer, soit dans des moules en sable, suivant l'usage auquel il est destiné. Les joailliers emploient rarement des moules, sauf pour les objets d'une épaisseur considérable (anneaux) et ceux qui ont un gros relief. Pour les petits articles, on se sert d'os de seiche, le modèle étant pressé dessus de façon à être reproduit, comme dans le cas du sable. Quelquefois, on frotte deux morceaux d'os tout à fait plats sur une pierre douce et dans chacun d'eux, on dessine la forme requise, en laissant un trou à travers lequel on coulera le métal.

La plus grande partie de l'or est coulé dans des moules à lingots, puis laminé en feuilles ou étiré en fils. Les différentes précautions déjà données à propos de la coulée des métaux s'appliquent en majeure partie aux alliages d'or. Le moule doit être sec, chauffé préalablement, puis noirci ou graissé pour éviter l'adhérence du métal. Si le moule est trop froid ou trop chaud, le métal crachera, et il y aura perte d'or. Il faut éviter avec beaucoup de soin de ne pas laisser couler du charbon ou des écumes avec le métal : faute de cette précaution, on obtient souvent des coulées défectueuses. On peut employer une mince pièce de bois plat, tenue dans la main gauche ; on préfère le bois de peuplier, parce qu'il brûle très lentement. Beaucoup de défauts proviennent de mauvaise poudre de charbon de bois, qui est quelquefois souillée de

poussière. Cette dernière peut être décelée par un lavage à l'eau, qui sera colorée par le charbon ; l'eau filtrée sur du bon charbon de bois doit être parfaitement incolore.

L'or craque quelquefois pendant le laminage, ce qui est dû à son aigreur ou à la présence d'impuretés. Beaucoup de substances sont recommandées et employées pour le raffinage de l'or ; pour la plupart, elles contiennent du chlore (sel commun, bichlorure de mercure, sel ammoniac). Le sel commun n'est pas à retenir : il produit un laitier très liquide qui peut couler dans le moule avec le métal, donner un lingot irrégulier plein de petits trous. La même remarque s'applique au borax. Le bichlorure de mercure convient très bien, si l'aigreur de l'or tient à la présence du plomb ou de l'étain : la cassure de la barre présente alors un grain serré, d'une couleur jaune pâle. Dans la plupart des cas, le sel ammoniac est le meilleur agent. Comme le chlorure de mercure, le sel ammoniac est volatil ; une partie se volatilise, pendant que l'autre est décomposée en ammoniaque et acide chlorhydrique, Ce dernier agit probablement sur les métaux ordinaires pour donner des chlorures volatils. Il ne reste ainsi aucun laitier pouvant couler dans les moules et contaminer le lingot de métal purifié. Dans la plupart des cas, il suffit d'une très petite quantité de ce flux ; à la vérité, un grand excès serait nuisible Toutefois, lorsque les alliages d'or contenant du cuivre sont fondus pour être affinés, on ajoute une petite quantité de charbon de bois en même temps que le chlorure employé.

Dans la fabrication des alliages d'or, il est convenable de ne pas employer autre chose qu'un peu de poudre de charbon de bois, pour former une couche protectrice qui empêche l'oxydation du cuivre.

Dans la fusion des métaux précieux, la qualité du coke employé n'est pas indifférente. Les observations suivantes de

M. C. Tookey, autrefois assistant-essayeur à la Monnaie du Japon, se rapportent à ce sujet (1).

A la Monnaie impériale d'Osaka (Japon), les barres d'or de San Francisco étaient fréquemment converties en métal pour monnaies en les fondant avec la proportion requise de cuivre pour obtenir un alliage au titre de 900 millièmes. En fondant d'une manière particulière, il y avait une perte inusuelle. Aucune bonne raison n'en était donnée ; mais M. Tookey trouva que les moufles de plombagine et les agitateurs employés pour l'opération étaient couverts de petites particules d'alliage d'or. Il semblait que les particules avaient été projetées de la surface du métal fondu par le départ d'un gaz. M. Tookey avait souvent observé un phénomène semblable lorsque les creusets contenant un alliage cuivre-argent étaient retirés du fourneau avant la coulée. Pendant qu'un de ces creusets, contenant 75 kgrs., refroidissait sur le plancher de la chambre de fusion, il se produisit une vive effervescence à la surface du métal, le projetant en petites particules qui se déposaient sur le plancher. Durant l'effervescence, il y eut une forte odeur d'acide sulfureux qui, sans aucun doute, avait été absorbé ou occlus par le métal, lorsque le creuset avait été exposé, à une haute température, aux produits de la combustion du coke contenant beaucoup de soufre.

La dimension des barres coulées varie suivant l'usage auquel elles sont destinées. Les fabricants d'agrafes coulent l'or en plaques larges et minces. Les fabricants de chaînes le coulent en bandes longues et suffisamment épaisses, qui, lorsqu'elles sont laminées aux environs des numéros 10, 11, 12 du calibre de Birmingham, sont recuites et coupées en bandes dans la machine à fendre, si elles ont été étirées en fils.

(1) Percy, *Métallurgie* ; *or et argent*, part. I, p. 489.

Un fourneau à fusion ordinaire des joailliers est un fourneau à vent, ayant environ 23 cm. de profondeur, garni avec des briques réfractaires. Le trou de tirage a 15 cm. sur 7 cm. 5 et le cendrier doit avoir une capacité au moins égale à celle du fourneau. Les barres ont 25 cm. de long et 3 cm. de large en haut ; elles vont graduellement en diminuant vers le bas. Le four doit communiquer avec une cheminée d'au moins 12 mètres de haut, afin d'obtenir un tirage actif et puissant. L'ouverture doit être fermée avec deux briques réfractaires ; chacune d'elles est maintenue solidement avec une barre de fer. Le tirage est régularisé par un registre convenable placé sur le conduit. On emploie généralement le coke ; il doit être de bonne qualité et pratiquement exempt de soufre.

Les fours employés pour fondre l'or pour monnaies sont de plus grandes dimensions que ceux décrits jusqu'ici, et correspondent à ceux décrits à propos de la fusion du laiton (p. 138). L'or est vendu par la Banque d'Angleterre à la Monnaie en lingots de 12 kg. chacun. Les creusets, faits en plombagine, peuvent contenir plus de 36 kgrs. de métal-type. Ils sont d'abord chauffés avant l'introduction de la charge, afin d'éviter leur rupture lorsqu'ils contiendront le métal précieux. Pour voir si un creuset est sain, une barre de fer froide est placée au fond ; s'il y a craquement, on le verra aussitôt. Lorsque le mélange d'or et de cuivre est fondu, on l'agite vigoureusement avec une tige de fer, et on le verse dans les moules à lingots.

Les lingots sont alors essayés ; deux essais sont faits par deux personnes pour chaque lingot, et l'échantillon correct est ainsi déterminé. S'il est trouvé correct, les planches sont percées et laminées aux dimensions voulues pour être débitées en flans.

§ **143**. — *Préparation de l'or pur.* — La méthode suivante

a été adoptée par les essayeurs pour la fabrication de l'or pur. L'or est dissous dans l'eau régale, l'excès d'acide est chassé, et on ajoute de l'alcool et du chlorure de potassium pour précipiter les traces de platine. Le chlorure d'or est alors dilué avec de l'eau distillée dans la proportion de 15 gr. par 4500 cent. cubes ; la solution est abandonnée pendant trois semaines, puis elle est soigneusement siphonnée ; on ajoute ensuite de l'acide oxalique de temps en temps jusqu'à ce que la solution soit incolore ; vers la fin, la précipitation de l'or est aidée par une douce chaleur. L'éponge d'or ainsi obtenue est lavée à différentes reprises avec de l'acide chlorhydrique, de l'eau distillée, de l'eau ammoniacale, et finalement avec de l'eau distillée. Elle est alors fondue dans un creuset de Picardie avec un peu de bisulfate de potasse pur et de borax, et versée dans un moule en pierre. La plaque d'essai préparée de cette manière pèse 2100 gr. et est d'une pureté moyenne de 999,96 parties d'or p. 1000.

§ **144.** — *Raffinage de l'or.* — L'or employé pour les monnaies, s'il ne contient pas plus de 10 0/0 d'argent, est ordinairement purifié par le procédé de Miller au gaz chlore. On fond l'or impur dans un creuset d'argile, glacé intérieurement avec du borax, et on fait passer le chlore dans le métal fondu à l'aide d'un tube d'argile. Le chlore se combine à l'argent pour donner du chlorure qui vient à la surface du métal fondu, pendant que les chlorures des métaux ordinaires (zinc, bismuth, arsenic, antimoine, etc.) sont volatilisés. Une couche de borax est placée à la partie supérieure pour empêcher la volatilisation du chlorure d'argent. L'or ainsi raffiné contient de 991 à 997 parties pour 1000 d'or pur : il est plus pur que l'or fin ordinaire.

Le Dr J. C. Booth, de la Monnaie des Etats-Unis, a découvert une méthode générale d'affinage de l'or et de l'argent ;

elle a été décrite, il y a quelques années, dans *the American chemical Society*. M. Booth avait trouvé qu'une certaine quantité d'or aigre accidentellement fondu avec de l'or affiné dans un creuset avait rendu toute la masse très cassante ; la cassure était cristalline, et le métal ne pouvait pas être employé pour le monnayage. Le tout fut alors affiné par l'auteur en un jour et demi pour un prix infime par son nouveau procédé. Environ 2350 kg. furent divisés en 14 portions, et chaque portion fut affinée séparément. Les lingots, qui pouvaient être brisés en morceaux en les frappant sur l'extrémité d'une boîte en bois, furent mis dans le creuset avec des cendres sodiques et du borax anhydre fondu, dans la proportion de 30 à 60 gr. par charge ; le creuset fut presque rempli. Après la fusion, on obtint une masse tranquille de métal couverte d'un laitier graisseux, disposé à augmenter de volume. Quelques cristaux de salpêtre (30 à 60 gr.) furent alors jetés au centre de la surface métallique et comme ils fondaient, on favorisa leur répartition au-dessus de la surface du bain par le mouvement concentrique du fond d'un petit creuset. Au moment où l'action oxydante visible commençait à se ralentir, le fondeur à l'aide d'un petit creuset de plombagine écumait la matière fondue aussi rapidement que possible, en évitant d'enlever du métal. Ce qui restait dans le creuset était du métal affiné.

§ **145**. — *Or doublé*. — Cette opération consiste à réunir une barre d'or à une barre d'un autre métal par *ressuage* ou par *soudure*.

Une barre d'or de qualité désirée et une barre de métal ordinaire sont d'abord parfaitement aplaties sous une presse ; les surfaces devant être réunies sont limées, nettoyées, et bien frottées avec du borax. Les deux barres de métal sont d'abord attachées avec du fil de fer, placé dans un moule, et la tem-

pérature est élevée presque au point de fusion pour que les deux métaux s'unissent en une barre compacte. C'est l'union par *ressuage*.

Une autre méthode, plus généralement employée, consiste à joindre les deux barres par soudure. Elles sont d'abord préparées comme dans le cas précédent. La barre de métal, étant plus large que celle d'or, supporte les morceaux de soudure qui sont placés le long de chaque côté, à mi-chemin de chaque extrémité. Le tout est alors fortement chauffé dans un moufle jusqu'à ce que la soudure fonde et réunisse les deux barres ensemble. Ces barres composées peuvent être laminées, estampées, filées ou autrement manipulées, comme si elles avaient été fondues pour avoir une masse homogène. L'or suit la réduction du métal ordinaire pendant le laminage, etc., et maintient la proportion relative d'épaisseur entre eux.

Soudures fortes pour le travail de l'or.

§ **146**. — Comme règle générale, l'union sera d'autant plus parfaite et le point de jonction plus résistant que la soudure employée aura une composition et des propriétés plus voisines de celles des métaux à souder. D'autre part, l'opération sera d'autant plus facile que la différence entre les points de fusion de la soudure et du métal sera plus grande. Dans tous les cas, il est nécessaire que la soudure ait un point de fusion inférieur à celui du métal.

La soudure est dite *forte* lorsqu'elle a un haut point de fusion (au-dessus du rouge) ; au point de vue littéral, c'est lorsqu'elle résiste à l'action d'un instrument coupant. Si le point de fusion de la soudure est abaissé par l'addition d'un métal facilement fusible, ou d'une plus grande quantité des constituants les plus fusibles de l'alliage, la soudure est dite *tendre*.

Les soudures d'or présentent beaucoup de variétés dans la douceur et la dureté par suite de l'addition en différentes proportions d'un métal plus fusible, l'argent par exemple. Ainsi pour l'or-18 carats, par exemple, la soudure peut être faite en ajoutant à l'alliage-18 carats une certaine proportion d'argent et de cuivre, de façon à ne pas altérer la couleur. Si la qualité de la soudure est trop inférieure, les objets seront mal colorés. Les soudures d'or coloré contiennent 1 partie d'argent pour 4, 5 ou 6 d'or, suivant le degré de fusibilité désiré. Gee donne le tableau suivant pour les soudures d'or coloré (1) :

	Or pur.	Argent pur.	Cuivre.
Meilleure soudure	12 parties 1/2	4 parties 1/2	3 parties
Soudure moyenne	10 »	6 »	4 »
Soudure commune.	8 » 1/2	6 » 1/2	5 »

Ces soudures peuvent être laminées minces, coupées avec des ciseaux et amenées à l'état de morceaux appelés *pallions*, ou limées en poussière, suivant les besoins de l'ouvrier.

TABLEAU DES SOUDURES D'OR COLORÉ EMPLOYÉES DANS LES PROCÉDÉS SUIVANTS :

Description.	Or pur.	Argent pur.	Cuivre ou composition	TOTAL.	Valeur par 31 gr. 103
Colorant à sec. . . .	31 gr. 103	9 gr. 331	6 gr. 221	46 gr. 655	72 fr. 50
» français. . .	31 » 103	12 » 442	10 » 887	54 » 432	62 » 50
» de Londres .	31 » 103	17 » 108	13 » 998	62 » 209	56 » 25
» de Birmingham.	31 » 103	19 » 441	15 » 553	66 » 097	53 » 10
» allemand . .	31 » 103	20 » 219	18 » 664	69 » 986	50 » 00
» plus brillant.	31 » 103	32 » 558	31 » 103	94 » 864	37 » 50

Le tableau suivant donne la composition de différentes soudures pour des alliages de divers titres.

(1) *Goldsmith's Handbook*, p. 136, 217 (1881).

	Or.	Argent.	Cuivre.	Zinc.
Soudure forte pour or.	10	5	»	1
id. -16 carats.	9	2	1	»
Soudure tendre id.	12	7	3	»
Soudure pour or-14 carats	3	2	1	»
id.	2	0,5	0,5	»
Soudure pour or inférieur à 14 c.	1	2	1	»
id.	1	2	»	»
id.	1	»	2	»
Soudure très tendre.	11,54	54,74	28,17	5,55

§ **147.** — *Coloration de l'or.* — Cette opération consiste à communiquer aux objets d'or une couleur particulière. Son objet est de donner à l'or allié toute l'apparence de l'or pur en dissolvant le métal ordinaire de la surface des objets, ce qui laisse une façon de l'or d'une très riche couleur. Deux modes distincts sont employés par les joailliers : la *coloration à sec* et la *coloration humide.* Le dernier est le plus fréquemment employé, car le premier ne peut s'appliquer qu'aux ors-18 carats et au-dessus.

Coloration humide. — Les composants du mélange employé dans ce procédé ont une puissante action dissolvante sur le métal ordinaire auquel est allié l'or, et une action plus faible sur l'or lui-même, de telle sorte que l'objet perd du poids en proportion directe du temps auquel il est soumis à l'action colorante : cette perte est d'autant plus grande que la teneur en or est plus faible. Gee dit que la coloration est hâtée et la perte en poids réduite au minimum si l'on emploie un vieux liquide colorant, et il assure que l'or dissous est, dans une certaine proportion, déposé le long de l'objet, parce que la perte en poids de quelques qualités communes d'or fut trouvée être très petite, et la quantité d'or récupérée du liquide colorant très petite également (1). Cette opinion est

(1) *Goldsmith's Handbook*, p. 161.

en accord avec le fait bien connu que dans tout liquide où un métal (le cuivre) est électropositif par rapport au métal en solution (l'or), celui-ci se dépose sur celui-là.

Beaucoup de mélanges différents sont employés ; quelques-uns seront donnés plus loin dans un tableau. Le suivant a été fourni à l'auteur par un joaillier de Birmingham qui le trouvait très bon :

Nitrate de potassium.	12 parties
Sel commun	6 »
Acide chlorhydrique	3 »

Le nitrate et le sel sont finement pulvérisés dans un creuset de plombagine préalablement chauffé ; le creuset a environ 20 cm. sur 18 cm. Le mélange est agité avec une cuiller en bois pendant une ou deux minutes. L'acide est alors ajouté avec environ 11 parties d'eau bouillante, et la masse constamment agitée jusqu'à ce qu'elle atteigne le haut du creuset. L'objet, qui a été nettoyé avec une solution de potasse ou de soude, est suspendu dans le liquide colorant au moyen d'un fil d'argent ou de platine pendant une minute, puis bien lavé à l'eau bouillante. On ajoute un peu plus d'eau au bain colorant, et lorsque le liquide bout, l'objet est immergé pendant une autre minute, et lavé à l'eau bouillante comme précédemment. Cette double opération (plongeage et lavage) est répétée plusieurs fois, le liquide colorant étant affaibli par addition d'eau après chaque opération, jusqu'à ce qu'on obtienne l'effet cherché. L'objet est finalement bien lavé à l'eau chaude et séché dans de la sciure. Toute l'opération dure de 5 à 7 minutes.

L'objet coloré est ensuite brossé sur un tour muni d'une brosse rotative faite de fil de laiton très fin, sur laquelle coule de la bière. Si l'opération a été bien conduite, on obtient une belle couleur, riche et mate.

Coloration à sec.— Dans ce procédé, on n'emploie aucun liquide. Les corps employés sont :

Nitrate de potassium.	8 parties
Sel commun.	4 »
Alun	4 »

Ces substances pulvérisées et bien mélangées sont placées dans un creuset préalablement chauffé, de mêmes dimensions que celui employé dans le procédé précédent ; mais il ne faut pas employer pour le procédé à sec un creuset qui aurait servi au procédé humide. Il est convenable de porter le creuset presque au rouge avant d'y introduire la couleur, qui est constamment agitée avec une tige de fer. Ce mélange se transforme d'abord en un liquide vert, puis se solidifie, et ensuite reprend l'état liquide avec une couleur jaune-brun. A ce moment, l'objet, qui a été recuit et décapé dans l'eau forte diluée, est plongé dans la couleur, suspendu par un fil d'argent ou de platine (ce dernier métal est préférable) ; on l'y laisse une minute et demie, et on l'immerge ensuite dans de l'eau bouillante contenant un peu d'eau forte. L'immersion et le lavage sont encore répétés, jusqu'à ce que l'objet possède une belle couleur. Il est alors lavé dans de l'eau chaude contenant un peu de potasse, et finalement séché dans de la sciure chaude.

Dans ce procédé, l'objet devra être aussi poli que possible ; l'effet obtenu sera d'autant plus joli que le poli sera brillant. Le temps donné plus haut n'est qu'une indication ; certains objets se coloreront beaucoup plus vite que d'autres, et on détermine le temps nécessaire par expérience.

Les mélanges suivants ont été recommandés :

PROCÉDÉ SEC		PROCÉDÉ HUMIDE				
Nitrate de potassium	8	Nitrate de potassium . .	8	14	15	14
Sel commun	4	Sel commun	4	7	7	7
Alun	4	Alun	4	7	7	»
Sel ammoniac. . . .	4	Acide chlorhydrique . .	»	2	1	5
Nitrate de potassium	4	Eau	»	»	»	»
Borax.	4					

Le mélange suivant est employé pour enlever l'apparence terne que prennent les objets colorés lorsqu'ils ont été conservés en magasin pendant quelque temps :

Bicarbonate de soude.	2	parties
Chlorure de calcium	1	»
Sel commun	1	»
Eau	16	»

On mélange intimement ces matières et on applique avec une brosse douce.

CHAPITRE X

ALLIAGES D'ARGENT.

§ **148.** — Les objets sont très rarement faits avec de l'argent pur, qui est trop mou et résisterait mal à l'usure à laquelle beaucoup de corps sont soumis. L'argent est alors allié à d'autres métaux, principalement le cuivre, pour lui communiquer le degré de dureté nécessaire. L'argent pur, à cause de sa grande ductilité, est employé pour faire la passementerie (galons, filigranes); les filigranes sont surtout faits en Inde, en Suède, en Norwège, et dans quelques parties de l'Allemagne où la main-d'œuvre est bon marché.

L'argent commercial le plus pur contient de petites quantités des autres éléments, qui, dans les meilleures variétés, ne l'empêchent pas notablement d'être travaillé. Il peut être quelquefois nécessaire d'obtenir de l'argent chimiquement pur; on y arrive de la manière suivante.

L'argent ordinaire est dissous dans l'acide nitrique pur, afin d'enlever l'or qui reste inattaqué et qu'on enlève par filtration. La solution est évaporée à sec, et le résidu fondu pour décomposer le nitrate de platine qui peut être présent. Le résidu est alors dissous dans l'ammoniaque étendue et on filtre; le liquide filtré bleu est dilué avec assez d'eau pour avoir une concentration de 2 0/0 d'argent. On ajoute une quantité suffisante de sulfate d'ammoniaque normal pour rendre la solution incolore à chaud, et on laisse le liquide dans des vases fermés pendant 34 heures, un tiers de l'argent se séparant

sous la forme cristalline. Le liquide, qui est encore bleu à froid, est décanté et chauffé à 60-70° C., jusqu'à ce que le reste de l'argent soit déposé. Afin d'enlever toute trace de cuivre, le précipité métallique est lavé à l'eau froide et laissé en contact avec l'ammoniaque concentrée pendant plusieurs jours. Il est alors lavé, séché, fondu dans un creuset de porcelaine non vernissée avec 5 0/0 de borax pur et 5 0/0 de nitrate de sodium. Enfin, il est coulé dans des moules garnis d'un mélange d'argile à porcelaine brûlée et non brûlée. Les barres d'argent doivent être alors frottées avec du sable, chauffées avec une solution de potasse pour enlever toute trace de silicate adhérent, et finalement lavées à l'eau.

Pour préparer l'argent pur, Stàs dissout l'argent fin dans l'acide nitrique dilué, évapore la solution à sec et calcine jusqu'à disparition des fumées rouges. La masse est dissoute dans l'eau, filtrée et diluée (30 parties d'eau pour 1 d'argent), et l'argent précipité à l'état de chlorure par l'acide chlorhydrique pur. Le précipité est lavé à l'acide chlorhydrique dilué, puis à l'eau, séché, et la poudre est bien frottée dans un mortier de porcelaine propre. Puis on fait digérer avec l'eau régale, et on lave bien. Le chlorure d'argent est alors réduit à l'état métallique en le faisant bouillir avec une solution de potasse caustique pure et de sucre de lait. L'argent réduit est lavé à l'acide sulfurique dilué, à l'eau, séché et fondu.

L'argent métallique a le pouvoir d'absorber certains gaz lorsqu'il est fondu ; mais pour la plupart, ces gaz sont chassés pendant la solidification du métal, produisant des vésicules à la surface, ou couvrant celle-ci d'un grand nombre de petites excroissances lui donnant un aspect gelé. Cette action est appelée *rochage*. Lorsque l'argent fondu se refroidit lentement au contact de l'air, les gaz s'échappent graduellement, et on aperçoit un léger rochage. Le gaz qui produit ce phéno-

mène est principalement de l'oxygène. Lorsque l'argent est fondu sous une couche suffisamment épaisse de matériaux non oxydants (sel commun, potasse), le métal se solidifie avec une surface brillante, montrant que l'oxygène n'a pas été absorbé, puis rejeté. Si l'on jette de la poudre de charbon de bois sur la surface du métal, le charbon s'empare de l'oxygène absorbé et prévient le rochage.

L'argent peut être allié à l'or, même dans la proportion d'un tiers de son poids, sans perdre son pouvoir d'absorber l'oxygène à l'état fondu et de rocher pendant la solidification. Chevillot dit que l'argent allié au cuivre (990 et 995 parties d'argent p. 1000) montre le phénomène du rochage ; que l'argent au titre de 952 ne dégage pas de gaz en quantité sensible ; et il suppose que l'argent au titre 980 est la limite à laquelle se produit le rochage (1).

L'argent est capable d'absorber l'oxygène et d'autres gaz, et de les retenir lorsqu'il est froid, s'il est chauffé au rouge au contact de l'oxygène ou d'autres gaz. Un tel gaz est dit *occlus*. Graham a trouvé que l'argent pur a occlus 0,545 de son volume d'oxygène ; un fil d'argent fin d'un diamètre de 0 cm.005 a absorbé 0,289 de son volume d'un gaz, consistant principalement en acide carbonique. Si l'argent monnayé est chauffé au rouge sombre, il devient noir à la surface, par suite de l'oxydation du cuivre. Un fil d'argent ainsi noirci a été trouvé avoir occlus plusieurs fois son volume d'oxygène. L'argent fin en fil, chauffé au rouge dans l'hydrogène et refroidi dans ce gaz, a occlus 0,211 de son volume du gaz.

L'argent fin est très employé sur le continent et dans l'Inde pour la fabrication de fils fins et de filigranes. L'ouvrier indien accomplit un travail très joli, représentant les fleurs, les

(1) *Mémoires de la Phil. Soc. de Manchester* (2e série), 1819, p. 271.

animaux, etc., avec un goût artistique véritable. Les objets sont faits à la main avec l'aide de quelques outils simples. Le travail est commencé en martelant le métal sur une enclume ; lorsqu'on a obtenu un certain degré de minceur, le métal est coupé en bandes et étiré en fils très fins à travers des plaques d'acier perforées, à l'aide d'une paire de fortes tenailles. Le fil est alors employé pour façonner des objets ornementaux divers. Le filigrane indien est réputé être le plus beau et le meilleur marché du monde. Dans ce genre de travail, il est important que les formes requises conservent bien leur place lorsqu'elles sont pressées dans le modèle, et ne rebondissent pas comme les métaux très élastiques ; c'est pourquoi on emploie de préférence de l'argent fin à l'argent monnayé.

§ **149.** — *Argent et arsenic.* — Ces métaux peuvent s'unir en certaines proportions, donnant des alliages durs, gris, cassants et facilement fusibles. Gehlen a fait un alliage contenant 16 0/0 d'arsenic, compact, cassant, gris d'acier et finement granulé. Berthier décrit un alliage à 14,8 0/0 d'arsenic ; il est gris sombre, cassant et cristallin ; par le brunissage, il acquiert le brillant et la couleur de l'argent très fusible, il ne se décompose pas au rouge. Guettier décrit un alliage contenant 14 0/0 d'arsenic, anciennement employé ; M. R. Smith a préparé un alliage dur et aigre, quoique un peu doux, devenant blanc et brillant par le brunissage ; il contenait 18,54 0/0 d'arsenic et correspondait à la formule Ag^3As.

Les alliages arsenic-argent peuvent être préparés par fusion directe des métaux ou par fusion d'un mélange d'argent, d'acide arsénieux et de flux noir.

§ **150.** — *Argent et antimoine.* — Les alliages de ces métaux peuvent être obtenus en toutes proportions par fusion directe : ils sont durs, cassants, gris ou blancs. La blancheur diminue avec la proportion d'antimoine. Les alliages sont très

fusibles et complètement décomposés par coupellation ou par fusion avec le nitre ; il reste l'argent pur. M. R. Smith a préparé les alliages suivants (1) :

	I	II	III
Argent	72,65	77,98	84,16
Antimoine	27,35	22,02	15,84

correspondant respectivement aux formules 3 Ag + Sb, 4 Ag + Sb et 6 Ag + Sb. L'argent était d'abord fondu sous une couche de charbon de bois, et on ajoutait ensuite l'antimoine. Le n° I était dur, cristallin, blanc-bleuâtre. Le n° II, semblable au n° I, était blanc-grisâtre. Le n° III était dur, granulé et blanc-grisâtre. Les poids spécifiques de 48 alliages argent-antimoine, contenant 50 0/0 d'argent et plus, ont été déterminés par Cooke, au collège Harvard (E-U.), qui a trouvé que les densités étaient supérieures aux densités moyennes des constituants, le maximum étant atteint pour l'alliage à 26, 6 0/0 d'antimoine. Cooke a aussi trouvé que la cristallisation des alliages est plus marquée aux environs de cette même proportion.

§ **151**. — *Argent et bismuth*. — Les alliages de ces métaux sont durs, facilement fusibles, cassants, d'une structure lamellaire. La couleur de l'alliage à 50 0/0 est la même que celle du bismuth. Un alliage contenant 33,33 0/0 d'argent est réputé être gris d'acier et se dilater pendant la solidification. Schneider dit que, lorsque le bismuth impur, contenant du soufre, de l'arsenic, du fer, du nickel et de l'argent, est fondu et versé sur une plaque froide, les globules métalliques qui sont formés pendant la solidification contiennent au moins 99,5 0/0 de bismuth, et parmi les métaux lourds, on ne trouve que l'argent dans ce bismuth.

(1) Percy, *Gold and Silver*, vol. I, p. 143.

§ **152**. — *Argent et étain.* — La plus petite quantité d'étain rend l'argent cassant. D'après Guettier, les alliages argent-étain sont aigres, très durs et cassants. Un alliage à 80 0/0 d'étain est presque aussi dur que le bronze. Un alliage à 52 0/0 d'étain est un peu malléable. Ces alliages sont très facilement oxydables. Ils ont un poids spécifique moindre que la moyenne des composants. L'étain peut être séparé de l'argent par fusion avec du bichlorure de mercure, laissant de l'argent pur. Les dentistes emploient un alliage de 60 parties d'argent et 40 parties d'étain, mélangé à du mercure.

§ **153**. — *Argent et zinc.* — Ces métaux se combinent très facilement, donnant des alliages gris-bleuâtre, cassants pour la plupart. Avec un excès de zinc, ils sont granulés ; avec un excès d'argent, la cassure est bacillaire. Les métaux se combinent beaucoup plus facilement à une haute température modérée. Berthier a préparé un alliage contenant 80 0/0 d'argent, qu'il dit avoir laminé en feuilles très minces ; il était rigide, élastique, très tenace et doux (1).

M. G. H. Godfrey a préparé les alliages suivants en versant le zinc fondu dans l'argent fondu (2) :

	I	II	III	IV
Argent . .	8,16	22,47	49,72	67,58
Zinc . . .	91,84	77,53	50,28	32,42

I. — La surface était gris-bleuâtre. Le métal était dur, facilement cassant ; le couteau l'entaillait aisément. La cassure était gris-bleuâtre, facilement granulée, d'un faible brillant.

II. — La surface était gris-bleuâtre. Plus dur que le n° I, le métal était assez fragile, le couteau l'entaillait plus difficilement. La fracture était gris-bleuâtre, brillante et fibro-bacillaire.

(1) *Traité des Ess.*, (2) p. 198.
(2) Percy, *Gold and Silver*, vol. I, p. 169.

III. — La surface était rouge-cuivre après solidification. Le métal était dur, cassant et facilement pulvérisable. La surface rompue à froid était blanche, très brillante, un peu bacillaire.

IV. — La surface a une teinte fine jaune-rougeâtre. Le métal était dur et facilement cassant ; sa cassure blanche et très brillante se ternissait bientôt ; sa structure est bacillaire.

Un alliage de 2 parties en poids de zinc et 1 d'argent passe pour être ductile, avoir une cassure finement granulée et être presque aussi blanc que l'argent (1).

Les alliages argent-zinc ont été proposés pour la fabrication des monnaies. Péligot a préparé des alliages contenant respectivement 5, 10 et 20 0/0 de zinc. Ils sont blancs, avec une légère teinte jaunâtre. Les monnaies obtenues ont présenté de l'élasticité et de la sonorité. Ces alliages ne sont pas aussi facilement noircis par l'hydrogène sulfuré que les alliages argent-cuivre.

§ **154**. — *Argent et fer.* — Ces métaux ne s'allient pas bien ensemble. MM. Stoddard et Faraday ont fait quelques expériences avec l'argent dans l'acier, et ont conclu qu'un trois centième d'argent correspond au meilleur alliage. Ces alliages ne paraissent présenter aucun intérêt pratique.

§ **155**. — *Argent et nickel.* — Berthier a décrit un alliage de ces métaux contenant 13, 5 0/0 de nickel ; il était blanc et susceptible d'un beau poli ; il se laminait bien et était très doux. Il semble y avoir très peu de faits connus relativement aux alliages de ces métaux.

§ **156**. — *Argent et plomb.* — Les alliages présentent peu d'intérêt au point de vue commercial. Les métaux s'unissent

(1) *Handwörterbuch der Chimie*, (7) p. 958.

facilement en toutes proportions. Une très petite quantité de plomb est suffisante pour diminuer la malléabilité et la ductilité de l'argent. Le plomb fondu dissout l'argent comme le mercure ; on n'obtient des mélanges homogènes qu'à l'état liquide, car, pendant le refroidissement, il y a liquation partielle. Levol a étudié cette question ; en voici les résultats (1).

	Formule atomique	Ag pour 1000 de l'alliage		Variations dans le lingot
		Calculé	Trouvé	
I.	$Ag^{20}Pb$	912,5	914	7,5
II	$Ag^{12}Pb$	862,0	863	14,5
III.	$Ag^{10}Pb$	839,1	840,5	23,5
IV.	$Ag^{4}Pb$	675,9	676,5	49,5
V	$Ag^{2}Pb$	510,5	516,6	66,5
VI.	$AgPb$	342,8	347,5	11,0
VII.	$Ag^{2}Pb^{3}$	256,0	262,0	13,0
VIII	$AgPb^{2}$	206,8	206,0	6,5
IX.	$AgPb^{5}$	94,4	»	19,5
X	$Ag^{2}Pb^{15}$	65,0	67,25	7,5
XI	$AgPb^{10}$	49,4	46,00	2,5
XII.	$AgPb^{50}$	10,3	9,75	0,25

I. — Blanc grisâtre, un peu malléable, se contracte pendant la solidification.

II. — Blanc grisâtre, ressemble au platine comme couleur et comme grain ; se contracte pendant la solidification, change à l'air humide.

III. — Blanc grisâtre ; se contracte beaucoup pendant la solidification ; chauffé à l'air, prend une belle teinte violet-bleu.

IV. — Assez malléable ; faible ténacité ; fond vers le rouge cerise ; gris bleuâtre ; s'oxyde très vite à l'air humide.

V. — Ressemble beaucoup plus au plomb qu'à l'argent ; mou ; assez malléable et ductile (2).

(1) *Ann. de Ch. et Ph.*, 1853, t. 39, p. 173.
(2) *Guide pratique des alliages*, par Guettier (1865), p. 150.

Rien de spécial pour les autres.

§ **157**. — *Argent et aluminium.* — Des alliages de ces métaux ont été fabriqués il y a quelques années ; on pensait obtenir des métaux de couleur blanche, résistant à l'atmosphère, et supérieurs aux alliages ordinaires argent-cuivre ; mais ces espérances n'ont pas encore été réalisées. L'aluminium durcit l'argent, et les alliages admettent un beau poli.

MM. C. et A. Tissier (1) disent qu'un alliage à 4,75 0/0 d'argent et 95,25 d'aluminium est plus élastique et plus dur que l'aluminium et aussi malléable que ce dernier. L'aluminium allié à 10 0/0 d'argent n'est pas très malléable. L'alliage à parties égales d'argent et d'aluminium serait aussi dur que le bronze. Lange (2) emploie un alliage de 100 parties d'aluminium et 5 d'argent pour les ressorts des montres. De tels ressorts sont très élastiques, durs, légers, moins cassants que l'acier et ne rouillent pas.

Tiers-argent (Un tiers d'argent). — Cet alliage, fabriqué à Paris pour divers ustensiles, contient 33,33 parties d'argent et 66,66 d'aluminium. MM. Tissier disent que ce même alliage peut être employé comme soudure, mais il coule difficilement et produit un joint cassant.

§ **158**. — *Argent et cuivre.* — Ces métaux s'unissent en toutes proportions, donnant une série d'alliages susceptibles de beaucoup d'applications dans les arts. La combinaison a lieu avec dilatation, de sorte que le poids spécifique est moindre que la moyenne des composants. La plupart des alliages sont aussi ductiles que l'argent ; ils possèdent plus de dureté, d'élasticité et de sonorité. La couleur de ces alliages est blanche jusqu'à ce que le cuivre atteigne près de 50 0/0 ; au-dessus, la couleur est jaunâtre, et vers 70 0/0, elle devient

(1) *L'aluminium et les métaux alcalins*, 1858, p. 173.
(2) *Jahresber.*, 1874, p. 1077.

rouge. L'alliage le plus dur est celui qui contient 5 parties en poids d'argent pour 10 à 11 de cuivre.

Le professeur Roberts-Austen a déterminé les points de fusion des alliages cuivre-argent (1) ; l'alliage contenant 630,29 d'argent p. 1000, représenté par la formule AgCu, a un point de fusion plus bas que l'argent, ou qu'aucun autre alliage argent-cuivre. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant. Il a depuis informé l'auteur que les résultats sont trop élevés ; les récentes déterminations du point de fusion de l'argent ont donné 940° C. au lieu de 1040°. D'après Violle, ce point de fusion serait de 954° C. (2).

Nos	Ag pur p. 1000.	Formule approchée.	Point de fusion.
1	1000	Ag	1040°C.
2	925	$Ag^7 Cu$	931°1
3	820,7	$Ag^3 Cu$	886°2
4	798	$Ag^5 Cu^2$	887°
5	773,6	$Ag^2 Cu$	858°3
6	750,3	$Ag^7 Cu^4$	850°4
7	718,93	$Ag^3 Cu^2$	870°5
8	630,29	Ag Cu	846°8
9	600	$Ag^7 Cu^8$	857°
10	569,9	$Ag^7 Cu^9$	899°9
11	561,1	$Ag^3 Cu^4$	917°6
12	540,8	$Ag^{20} Cu^{29}$	919°8
13	500	$Ag^3 Cu^5$	940°8
14	497	$Ag^{25} Cu^{43}$	962°6
15	459,4	$Ag Cu^2$	960°8
16	250,5	$Ag Cu^5$	1114°1
17	Cuivre pur.	Cu	1330° (3)

Les alliages 7 et 8 offrent un intérêt spécial. Le premier, $Ag^3 Cu^2$, est l'alliage homogène de Levol qui reste de com-

(1) *Proc. Roy. Soc.*, vol. XXIII, pp. 349, 681.
(2) *Comptes rendus*, t. 85, p. 543.
(3) Le point de fusion du cuivre est 1085°, d'après les plus récentes déterminations.

position uniforme, pendant que beaucoup d'autres subissent la liquation par un refroidissement lent. L'alliage Ag Cu a la relation atomique la plus simple et le point de fusion le plus bas.

Pour étudier le phénomène de liquation, les alliages étaient coulés dans des moules de briques réfractaires, dans lesquels le métal (environ 1500 gr.) pouvait être refroidi rapidement ou lentement, mais uniformément. Les résultats ont montré que l'homogénéité de l'alliage de Levol était légèrement modifiée par cette méthode de coulage ; et d'autre part, que les alliages qui contiennent plus de 71,89 0/0 d'argent montrent à peine des indices de réarrangement quand la solidification a lieu graduellement. Deux alliages contenant respectivement 63 et 33,3 0/0 d'argent ont été trouvés très peu homogènes ; dans le premier, la constitution était influencée par la densité, la base de la pièce étant plus riche en argent. Le tableau suivant contient un résumé des résultats de Roberts-Austen :

Nos	DÉSIGNATION	Parties d'argent pour 1000.	Nature du refroidissement.	Variation max. dans la quantité d'argent, dans les différentes parties de l'alliage.
I a	Monnaies anglaises	925	rapide	12,8 p. 1000
I b			lent	1,4 »
II a	Vieilles monnaies françaises.	900	rapide	10,1 »
II b			lent	1,3 »
III	Alliage homogène de Levol.	718,93	lent	1,2 »
IV	AgCu.	630,3	lent	21,1 »
V	$AgCu^4$.	333,3	lent	12,8 »

Dans Ia et IIa, le centre des cubes était le plus riche, tandis que les coins étaient les plus pauvres ; — dans Ib et IIb, les légères variations suivaient les mêmes lois.

Dans III, les coins étaient généralement plus riches que le centre.

Dans IV, on peut supposer que la densité avait influencé l'alliage, les parties inférieures étant plus riches que les supérieures.

Dans V, les variations ne suivent aucune loi connue.

Eu égard à l'argent monnayé coulé dans les conditions ordinaires, la tendance du cuivre et de l'argent à se séparer semble dépendre de l'inégalité de vitesse du refroidissement des différentes parties du lingot. Le phénomène de refroidissement cause une séparation partielle du cuivre dans les portions d'abord refroidies, et les autres portions qui se solidifient ensuite sont plus riches en argent.

Les alliages cuivre-argent sont sujets à changer lorsqu'ils sont fortement chauffés à l'air, le cuivre étant oxydé. Si l'alliage contient beaucoup de cuivre, l'argent sera aussi oxydé, mais à un moindre degré que le cuivre. Si de tels alliages sont chauffés au rouge dans un moufle ordinaire avec accès d'air, la décoloration de la surface est proportionnelle à la quantité de cuivre. Le tableau suivant est dû à Chaudet (1) :

Argent dans 1000 parties d'alliage		Caractères des surfaces après chauffage.
1000	(argent pur)	Terne, mais blanc
950	»	Blanc-gris uniforme
900	»	Blanc-gris terne, bandes noires aux extrémités
880	»	Gris, déjà noir
860	»	id.
840	»	Tout à fait noir
820	»	id.
800	»	id.

§ **159**. — *Argent monnayé.* — La monnaie et les objets

(1) *L'art de l'essayeur*, par Chaudet, p. 77.

d'argent anglais contiennent des proportions définies d'argent et de cuivre, réglées par la loi. La monnaie d'argent contient 925 parties d'argent pour 1000, les 75 autres étant du cuivre Il faut mentionner que le cuivre ajouté à l'argent est appelé *alliage*, pendant que, strictement parlant, c'est tout le corps, contenant l'argent et le cuivre, qui est l'alliage. Les objets d'argent devant être poinçonnés sont faits avec de l'argent monnayé ; aucune autre qualité n'est permise par la loi pour être essayée.

En préparant cet argent, il est nécessaire de mettre un peu plus d'argent pur qu'il n'est indiqué plus haut, parce que l'argent fin commercial n'est jamais parfaitement pur; ainsi au lieude prendre 28 gr. 773 pour 31 gr. 103, on emploie 28 gr. 903. La qualité communément employée par les bijoutiers est généralement inférieure au titre, lorsqu'elle n'est pas poinçonnée ; elle contient 27 gr. 995 d'argent pour 31 gr. 103, ou 900 parties pour 1000.

§ **160**. — Les divers alliages cuivre-argent employés pour les objets manufacturés sont donnés dans le tableau suivant (1) :

	I	II	III	IV
Argent	90	80	75	70
Cuivre	10	20	25	30
	V	VI	VII	VIII
Argent	68.5	65	62.5	60
Cuivre	32.5	35	37.5	40

Le n° VIII est l'alliage le plus commun que l'on puisse faire sans avoir une faible couleur jaune. Une variété plus ordinaire peut cependant être obtenue en ajoutant un troisième métal, comme le nickel.

Les alliages pour monnaies et vaisselles usités légalement en France sont les suivants (2) :

(1) Gee *Silversmith's Handbook*, p. 64, 67.
(2) *L'art de l'essayeur*, par Chaudet, p. 335.

	Poids spécifique	Cuivre pour 1000	Erreurs tolérées Cuivre pour 1000
Monnaie d'argent.	10,26 à 10,3	100	97 à 103
Monnaie de billon.	9,37 à 9,5	800	797 à 807
Vaisselle d'argent.	»	50	50 à 55
Médailles —	»	50	47 à 53
Joaillerie —	»	200	»
Soudure —	»	120 à 330	»

Les pièces de 10 centimes appelées *billon* n'ont pas été fabriquées depuis 1810. Le titre pour les pièces d'argent françaises a été abaissé à 835, sauf pour les pièces de 5 francs.

En Allemagne, il y a quatre titres ; ce sont les suivants :

Marchandise d'argent, 950 d'argent p. 1000
Monnaie, 900 d'argent p. 1000
Marchandise d'argent, 800 d'argent p. 1000
Marchandise d'argent, 750 d'argent p. 1000

On ne peut allier à l'argent aucun autre métal que le cuivre.

Elliot et Storer ont décelé la présence du plomb dans les monnaies d'argent des États-Unis et d'autres pays (1). Leurs résultats sont les suivants :

Espèce de monnaie	Ag. p. 1000	Pb. p. 100
Demi-dollar américain (1824)	900	0,3100
Pièce américaine de 5 cents (1853). .	id.	0,2090
— — (1854). .	id.	0,2282
— 25 cents (1858). .	id.	0,2305
Argent pur du bureau d'essai de New-York (1860).	id.	0,1611
Dollar espagnol (Charles IV, 1793). .	id.	0,0558
— mexicain (1829)	id.	0,0434
Shilling anglais (1816)	925	0,4847
Pièce de 5 francs française (1852, Napoléon III)	900	0,4282

(1) *Amer. Acad. of Arts and Sc.*, 1860, p. 52.

Le plomb dans les monnaies américaines est dû au zinc employé dans la réduction du chlorure d'argent. A la Monnaie Française, l'argent est précipité par le cuivre d'une solution acide de sulfate d'argent, et l'acide contient probablement du plomb. Dans la monnaie anglaise, le plomb peut être dû à une coupellation imparfaite.

Le tableau suivant donne la composition des monnaies de différentes contrées :

Contrée	Monnaie	Titre
Grande-Bretagne . .	Shilling, etc. . . .	925
Australie	—	id.
Cap de Bonne-Espérance	—	id.
Canada	50 cents	id.
Terre-Neuve . . .	—	id.
Indes, Birmanie, Ceylan	Roupie	916,667
France, Belgique, Suisse (1). . . .	5 francs	900
Italie	5 livres	id.
Grèce	5 drachmes	id.
Serbie	5 deniers.	id.
Roumanie	5 legs	id.
Bulgarie	21 lew	835
Autriche-Hongrie . .	Florins	900
Espagne	5 pesetas, 2 escudos .	id.
République Argentine.	1 peso	id.
Bolivie	1 boliviano	id.
Chili	1 peso.	id.
Pérou.	1 sol	id.

(1) Voir p. 344.

Allemagne	1 mark	900
Russie	1 rouble	868,056
Danemark, Suède et Norwège	2 couronnes. . . .	800
Pays-Bas.	1 florin	945
Portugal.	5 testoons	916,667
Empire Ottoman . .	20 piastres	830
Egypte	10 piastres	900
Perse.	10 scahis.	id.
Etats-Unis	1 dollar	id.
Mexique.	1 peso	902,778
Brésil.	2 Milreis.	916,667
Japon.	1 yen.	900
Cochinchine. . . .	Piastre	id.

Argent, cuivre, zinc et nickel. — Quelques monnaies étrangères ont été faites avec des alliages de ces métaux, et certains manufacturiers français ont substitué les alliages cuivre-nickel-argent à l'argent monnayé.

Une série d'alliages, connus sous le nom de *ruolz*, ont été brevetés par de Ruolz et de Fontenay en 1854 ; ils pouvaient être utilisés à la place de l'argent.

Ils contiennent 20 parties d'argent, 30 à 75 de nickel, 70 à 75 de cuivre.

Il est recommandé de fondre d'abord le cuivre et le nickel, et d'ajouter ensuite l'argent. Le charbon de bois et le borax sont employés comme flux, et les lingots obtenus sont rendus malléables en les chauffant pendant quelque temps dans la poudre de charbon de bois. Un second brevet fut pris en 1854, pour l'introduction d'un peu de phosphore dans les mêmes alliages ; on avait alors les avantages suivants ; les alliages sont plus fusibles, le métal fondu est très fluide,

le grain est serré, la couleur est plus blanche, les pièces exemptes de porosité. Cependant le phosphore diminue beaucoup la malléabilité et la ductilité.

C. D. Abel de Londres a aussi breveté certains alliages contenant du nickel :

	I	II	III	IV	V	VI
Argent . . .	33	40	20	33,3	34	40
Nickel . . .	25 à 30	20 à 30	25 à 35	8,6	8	4,6
Cuivre . . .	37 à 42	30 à 40	45 à 55	41,8	42	44,6
Zinc	»	»	»	16,3	16	10,8

Les n°s IV et V sont spécialement désignés pour les objets laminés, repoussés, étirés ; le n° III pour les pièces fondues ; le n° VI pour la joaillerie.

L'*alliage d'argent de Mousset* contient 59,5 de cuivre, 27,5 d'argent, 9,5 de zinc et 3,5 de nickel pour 100.

Les *alliages monétaires suisses* contiennent :

	20 centimes	10 centimes	5 centimes
Argent . . .	15	10	5
Cuivre	50	55	60
Nickel	25	25	25
Zinc	10	10	10

M. Parkes de Birmingham a breveté en 1844 les alliages suivants :

	I	II
Argent.	20	10
Cuivre.	60	60
Nickel.	20	10
Zinc.	»	20

Péligot a préparé les alliages suivants, plus blancs et plus malléables que les alliages d'argent et de cuivre contenant les mêmes proportions d'argent (1) :

(1) *Comptes rendus*, 1864, p. 645.

	I	II	III
Argent	10	80	83,5
Cuivre	5	10	9,3
Zinc	5	10	7,2

Les compositions suivantes sont tirées de plusieurs sources :

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Argent.	40	36,4	31	27	25	20	40	36	33
Cuivre.	33	36,4	40	42	44	50	32	34	37
Nickel.	26	27,2	29	31	31	30	21	22	25
Zinc.	»	»	»	»	»	»	7	8	5

Argent, cuivre, cadmium. — Brannt dit que le cadmium communique aux alliages d'argent une grande élasticité et une grande ductilité sans modifier leur couleur blanche ; il donne les compositions suivantes :

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Argent	980	950	900	800	666	667	500
Cuivre	15	15	18	20	25	50	50
Cadmium. . .	5	35	82	180	309	284	450

Soudures d'argent.

§ **161.** — Une soudure doit être plus fusible que les objets destinés à être soudés ; à l'état fondu, elle doit bien couler et se mêler parfaitement avec les arêtes ou les surfaces devant être soudées ; autrement, on ne peut faire des soudures fortes et invisibles. Les meilleures jonctions sont faites quand le métal et la soudure sont, autant que possible, identiques en dureté, malléabilité et fusibilité. Si la fusibilité de la soudure est presque la même que celle du métal, il faut une grande habileté de la part de l'ouvrier pour ne pas fondre le métal ; mais alors la soudure sera plus parfaite. Au fur et

à mesure qu'un métal s'approche de son point de fusion, il se dilate de plus en plus, et devient plus poreux ; les molécules de la soudure, lorsqu'elle est fondue, pénétreront plus facilement à travers le métal, formant ainsi une union plus intime.

Gee (1) dit que « les meilleures soudures sont celles qui contiennent un peu de zinc. Elles peuvent être laminées ou limées à l'état de poussière. S'il y a tröp de zinc, il y a tendance à l'usure, par suite à la destruction de l'objet après un certain temps. De telles soudures se volatilisent partiellement pendant l'opération, de sorte que cette dernière doit être répétée plusieurs fois, usant ainsi du temps et de la soudure ». Les soudures les plus dures, c'est-à-dire les plus difficiles à fondre, sont celles qui ne contiennent que du cuivre et de l'argent ; les moyennes renferment du zinc, et les plus tendres sont obtenues par addition d'étain. On ajoute quelquefois de l'arsenic pour obtenir une plus grande fusibilité.

Les deux surfaces à réunir doivent être nettoyées. Mais lorsqu'on les chauffe, il y a oxydation, à moins que le métal ne soit protégé de l'action de l'air ; on ajoute alors un flux comme moyen de protection, pour dissoudre l'oxyde formé et laisser les parties qui doivent être jointes absolument propres. On emploie généralement le borax.

Soudures anglaises (2).

I. — Argent fin : 4 parties en poids ; cuivre : 1 partie.

II. — Argent monnayé : 3 parties en poids ; laiton (2 de cuivre, 1 de zinc) : 1 partie.

III. — Argent fin : 2 parties en poids ; laiton : 1 partie.

M. Edward Mathey dit que le n° III est une soudure blanche,

(1) *Silversmith's Handbook*, p. 76.
(2) Percy, *Gold and Silver*, p. 166.

très douce, employée pour la vaisselle ordinaire. Gee dit que les soudures précitées ne sont pas les meilleures pour le travail ordinaire de l'argent. Le n° I est trop difficile à fondre ; les nos II et III peuvent contenir du plomb qui brûle et corrode le métal. Si on emploie du laiton pour faire une soudure, le zinc entrant dans la composition du laiton doit être exempt de plomb.

Afin d'essayer différentes compositions pour souder des objets en argent monnayé, l'auteur a fait quelques expériences. Un échantillon de soudure, provenant d'une grande manufacture, a donné à l'analyse :

Argent	64,15
Cuivre	22,85
Zinc	13,00

Comme les marchandises fabriquées par la maison précédente doivent être poinçonnées, il est nécessaire de prendre un métal plus riche que l'argent monnayé afin de compenser la teneur plus faible de la soudure. L'auteur se proposait d'abord d'obtenir une soudure aussi voisine que possible de l'argent monnayé, pour éviter ainsi la nécessité de faire l'alliage à un titre aussi élevé. Il pensa qu'en réduisant la proportion de cuivre et y substituant du zinc, il atteindrait le but :

	I	II	III	IV
Argent. . . .	925	925	952	925
Cuivre. . . .	50	38	25	»
Zinc	25	37	50	75

Ces soudures, essayées par un ouvrier expérimenté, furent trouvées trop dures et pas suffisamment liquides à l'état fondu. Le n° II était la meilleure. D'autres furent alors essayées.

	I	II	III
Argent	800	800	800
Cuivre.	100	50	25
Zinc	100	150	175

Le n° I était le plus difficile, et le n° III le plus facile à fondre. Elles coulaient aussi facilement que la soudure donnée plus haut contenant 64 0/0 d'argent, et semblaient répondre également bien au but cherché.

La soudure suivante est mentionnée par Tenner comme convenable pour la joaillerie :

Argent	63.3
Cuivre	3,4
Laiton	33,3

Soudures françaises.

La soudure suivante est employée pour les objets d'argent au titre 950 :

Argent	66,6
Cuivre	23,3
Zinc	10

En faisant cette soudure, il est recommandé d'allier au préalable le zinc avec deux fois son poids de cuivre ; les proportions suivantes sont alors employées :

Argent.	68,6
Cuivre	3,3
Laiton	30

Guettier donne le tableau ci-dessous (1) :

	I	II	III	IV	V	VI
Argent.	5	3	2	4	2	1
Laiton.	1	1	1	»	»	»
Bronze (90 Cu, 10 Sn). . . .	»	»	»	3	»	1
Arsenic	»	»	»	0,25	0,5	»
Cuivre.	»	»	»	»	1	1

(1) *Guide pratique des alliages métalliques*, p. 324, 326.

Il dit plus loin que ces soudures doivent être fondues plusieurs fois. Le métal est alors laminé en bandes minces qui sont granulées en paillettes, faciles à mélanger au borax. Lorsqu'on emploie de l'arsenic, on ne l'ajoute qu'après la fusion des autres métaux.

Gee soutient qu'il y a quelque avantage à refondre plusieurs fois les soudures d'argent contenant du zinc, mais que son expérience est en opposition directe avec la pratique. Les soudures qui contiennent des métaux volatils deviennent dures, cassantes et crasseuses par des fusions répétées, et elles sont de beaucoup meilleures si elles n'ont été fondues qu'une fois. En 1635, Bate publia le procédé suivant pour faire les soudures d'argent : « Prendre le quart d'une once d'argent, 3 pennyweights de cuivre, fondre ensemble, et c'est fini ».

Les soudures suivantes sont recommandées pour des travaux spéciaux (1) :

I. —	Argent fin. .	31 gr. 103
	Cuivre. . . .	7 gr. 776
II. —	Argent fin . .	31 gr. 103
	Cuivre. . . .	15 gr. 553
III. —	Argent fin. .	24 gr. 885
	Cuivre. . . .	0 gr. 778
	Composition.	5 gr. 443
IV. —	Argent fin. .	31 gr. 103
	Composition.	15 gr. 553
	Etain pur . .	3 gr. 110
V. —	Argent fin . .	31 gr. 103
	Cuivre. . . .	18 gr. 663
	Zinc pur. . .	4 gr. 666
VI. —	Argent fin. .	31 gr. 103
	Cuivre. . . .	4 gr. 666
	Arsenic . . .	3 gr. 110
VII. —	Argent fin . .	31 gr. 103
	Composition.	9 gr. 331
	Arsenic . . .	1 gr. 555
VIII. —	Argent fin. .	31 gr. 103
	Composition.	7 gr. 776
	Etain	7 gr. 776
IX. —	Argent fin. .	31 gr. 103
	Etain	15 gr. 553
	Arsenic . . .	7 gr. 776
X. —	Argent fin. .	31 gr. 103
	Composition.	23 gr. 330
	Arsenic . . .	1 gr. 944

Les n^{os} I et II sont recommandés pour le travail d'émaillage. Le n° III est commode pour les filigranes, le n° IV pour les chaînes. Le n° V est une soudure commune, de même que les n°s VIII, IX et X.

(1) GEE, *Silversmith's Handbook*, p. 84.

Les soudures d'argent sont employées pour souder d'autres métaux ou alliages (fonte, acier, laiton, maillechort, alliages d'or, etc.).

Comme il a déjà été mentionné, le flux le plus employé pour les soudures fortes est le borax ; quelquefois pour les soudures très dures, on prend du verre pilé. A Vienne, on utilise une substance appelée *streuborax* ou *sprinkleborax*, composée comme suit :

Borax calciné	87,5
Carbonate de soude	7,5
Sel commun	5

Ces matières sont chauffées pour chasser l'eau de cristallisation, puis pulvérisées. L'objet de ce mélange est d'empêcher la montée de la soudure, et de faciliter son raccordement. Cependant il produit plus d'encombrement que si l'on emploie le borax seul, et s'il conserve l'état humide quelque temps après qu'il est fait, la soudure devient jaune.

Alliages imitation argent.

§ **162**. — *Alliage de Clark.* — Cuivre : 75 ; nickel : 14,5 ; zinc : 7,5 ; étain : 1,5 ; cobalt ; 1,5 0/0.

Alliage de Baudoin. — Cuivre : 72 ; nickel : 16,6 ; cobalt : 1,8 ; étain : 2,5 ; zinc : 7,1 0/0. Quelquefois environ 0,5 d'aluminium.

Alliage parisien. — Cuivre : 69 ; nickel : 19,4 ; zinc : 6,5 ; cadmium : 5 0/0.

Alliage blanc. — Cuivre : 64,5 ; étain : 32 ; arsenic : 3,5 0/0.

Argent chinois. — Cuivre : 58 ; zinc : 17,5 ; nickel : 11,5 ; cobalt : 11 ; argent : 2 0/0.

Alliage de Warne. — Etain : 37 ; nickel : 26 ; bismuth : 26 ; cobalt : 11 0/0.

Min argent.— Cuivre : 56; nickel : 40; tungstène : 3; aluminium : 1 0/0.

Alliage blanc. — Cuivre : 59; étain ; 31 ; laiton : 8 ; arsenic : 2 0/0.

Voir aussi le chapitre sur le *maillechort, les alliages d'argent, zinc, cuivre et nickel.*

Les alliages ci-dessus sont employés pour la joaillerie bon marché et les marchandises galvanisées. Les fils peuvent servir pour faire les épingles, les broches, les agrafes, etc. Ils sont plus durs et plus difficiles à travailler que les alliages d'argent ordinaires, mais leur dureté et leur ténacité les désignent bien pour les usages mentionnés ci-dessus.

Fabrication et fusion de l'argent et de ses alliages.

§ **163**. — Les creusets les mieux adaptés pour fondre l'argent sont faits d'argile et de plombagine, et connus sous le nom de creusets de plombagine. Ils résistent à l'action de la chaleur et aux changements brusques de température beaucoup mieux que les creusets de terre ordinaires ; s'ils sont préalablement recuits, ils peuvent servir beaucoup de fois sans craquer ni se briser. Ils résistent aussi mieux à l'action corrosive des laitiers et des flux.

Les alliages qui ne contiennent que de l'argent et du cuivre peuvent être préparés en fondant ensemble les deux métaux sous une couche de poussier de charbon. Lorsqu'ils sont fondus, on agite vigoureusement la masse avec une tige de fer, puis on coule. Si le zinc rentre dans l'alliage, ce métal est d'abord chauffé, puis ajouté après que l'argent et le cuivre sont fondus ; le tout est vigoureusement agité. Le zinc, en effet, est un métal volatil ; et comme la volatilité augmente avec la température, il est bon d'ajouter le zinc aussitôt que

les autres métaux sont fondus. Le métal est généralement coulé dans des lingotières plates, de façon à obtenir une plaque d'argent bonne pour le laminage ou le tréfilage ; les mêmes précautions indiquées pour les alliages d'or s'appliquent à ceux d'argent. Le poussier de charbon employé doit être de bonne qualité ; les alliages sont quelquefois mauvais à cause du charbon. Si on emploie de l'étain, il ne faut le mettre qu'après fusion du cuivre et de l'argent ; mais cette précaution n'est pas aussi indispensable qu'avec le zinc ou l'arsenic.

Si l'on emploie concurremment avec le métal neuf des rognures ou des alliages, il faudra un fondant pour éliminer les impuretés susceptibles d'être introduites. Dans la plupart des cas, on se sert du carbonate de soude ou du borax ; ce dernier doit être employé en petite quantité.

§ **164**. — La *tournure*, comme on appelle les limures et rognures, etc., est purifiée en brûlant la matière organique et fondant dans un creuset en forme de quille avec des fondants convenables. Le mélange suivant peut être donné à titre d'indication générale :

Tournure.	70 à 80	parties
Carbonate de soude	10 à 15	—
Sel commun	5	—
Bisulfate de potasse.	2	—

Le nitrate de potasse peut remplacer le bisulfate ; mais on ne doit les employer qu'en petite quantité. Le sel ne doit pas être mélangé avec l'argent et les autres flux ; il sert à couvrir le mélange, pour l'empêcher de monter trop et de déborder. Pour commencer, le creuset ne doit être qu'à moitié plein. Lorsque toute la masse est liquide, on maintient en fusion pendant une demi-heure. Puis on laisse graduellement refroidir, et on brise le creuset pour avoir la masse métallique.

Quelques manufacturiers préfèrent fondre la tournure dans

un creuset en plombagine ordinaire, avec du carbonate de soude comme flux. Lorsque le métal est bien fondu, le mélange est bien agité de temps en temps avec une baguette de fer, et le métal est finalement coulé dans une lingotière, prêt pour l'affinage.

Bureaux de garantie et d'essai en Angleterre.

§ **165**. — L'argent monnayé est essayé et marqué dans certains bureaux dûment autorisés, situés dans différentes parties du royaume. Les marques indiquent le fabricant, le titre de l'alliage, l'endroit et l'année de l'essai et le paiement des droits. Le nom du fabricant est indiqué par ses initiales, le titre de 0,925 par un Lion passant, l'endroit de l'essai par des armes héraldiques, l'année par une lettre qui est changée tous les ans, et le paiement des droits par la tête du souverain. Il y a sept bureaux d'essai, pour lesquels les armes sont les suivantes : Londres, une tête de léopard ; Birmingham, une ancre ; Chester, une épée entre trois gerbes ; Exeter, un château avec trois tours ; Sheffield, une couronne ; Newcastle-sur-Tyne, trois châteaux avec une tête de léopard ; York, une croix et cinq lions, avec une tête de léopard. Il y a deux bureaux d'essai en Ecosse où le titre normal est indiqué par un chardon. Les marques distinctives sont : Edimbourg, un château ; Glasgow, un arbre sortant d'une montagne, avec une cloche sur la branche gauche, un oiseau sur celle d'en haut ; au-dessus du tronc, un saumon tenant dans sa bouche un annelet. En Irlande, l'essai et la marque se font à Dublin. Le titre de 0,925 et l'endroit de l'essai sont indiqués par une harpe couronnée, le paiement des droits par le chiffre de l'Irlande, avec une marque additionnelle de la tête du souverain.

Polissage, etc.

§ **166**. — Le beau lustre de l'argent est proverbial, car il est capable de recevoir un poli très brillant. Les poudres employées pour le polissage sont : l'émeri, la ponce, la terre pourrie, la potée d'étain, le rouge à polir, ce dernier étant employé pour finir. Les éraflures sont enlevées par une pierre plutôt douce, de couleur gris sombre, appelée pierre *Water-of-Ayr*. L'émeri et la ponce sont employés pour commencer le travail, lorsque les objets réclament un beau poli. L'oxyde de fer, vendu sous les noms de colcothar, crocus, ou rouge, contient beaucoup d'impuretés qui ne peuvent pas être enlevées par lavage. Vogel recommande l'emploi de l'oxyde ferrique provenant de la calcination de l'oxalate ferreux, comme préférable au colcothar ordinaire lavé (1). M. Ross a communiqué à la Société des Arts, mai 1833, la recette suivante. Les cristaux de sulfate ferreux sont dissous dans l'eau, et la solution filtrée pour enlever la matière siliceuse. A la solution filtrée, on ajoute une solution saturée de soude, et le précipité bien lavé est séché. Il est alors graduellement chauffé au rouge sombre dans un creuset, puis versé dans un plat. Par refroidissement, il absorbe l'oxygène ; il doit avoir une belle couleur rouge sombre lorsqu'il est convenable pour le polissage de l'or et de l'argent. Pour qu'il puisse servir au polissage des substances plus dures, on doit le chauffer au rouge éclatant jusqu'à ce qu'il prenne une couleur pourpre par exposition à l'air. Après ce traitement, il doit être frotté avec une spatule en fer forgé sur une plaque en fer forgé, puis lavé avec une solution très faible de gomme arabique. Il est alors presque impalpable, exempt de matière étrangère et

(1) *Chem. Gazette*, 1854 (12), p. 410.

éminemment propre pour le polissage de l'acier, du verre, des camées les moins durs, etc.

Aucune poudre contenant du mercure ne doit être employée pour le polissage des objets d'argent.

Les surfaces des objets d'argent sont perfectionnées en apparence par un procédé de *blanchissage*, qui lui communique une couleur d'un blanc de neige, après que chacun des autres procédés de travail a été utilisé. Cet enrichissement est plus parfait si le métal est de bonne qualité, et le fini, eu égard à la douceur et à la disparition des marques de soudure, est très soigné.

Beaucoup de méthodes différentes ont été employées. Une vieille méthode consiste à plonger l'objet dans une solution épaisse de borax, puis à le placer dans une capsule en cuivre, à le recouvrir de poussier de charbon de bois, et mettre la casserole et son contenu sur un feu clair. On chauffe au rouge, on retire et on laisse refroidir. L'objet est mis dans une solution bouillante d'acide sulfurique dilué, et si la couleur n'est pas obtenue, on répète l'opération une ou plusieurs fois. Les objets à titre inférieur exigent cinq ou six opérations.

Une autre méthode consiste à plonger l'objet dans un mélange de 4 parties de charbon pulvérisé et 1 partie de nitre, bien mêlés avec de l'eau. L'objet est chauffé jusqu'à ce que la couche soit tout à fait sèche ; on retire du feu, on laisse sécher et on fait bouillir dans une solution de bisulfate de potasse. Après deux ou trois opérations, on obtient une belle couleur blanche. L'objet est ensuite lavé dans la soude et de l'eau contenant un peu de savon, ou bruni s'il est nécessaire. On finit en mettant sécher dans de la sciure chaude.

La méthode de Gee (1) consiste à chauffer l'objet au rouge

(1) *Silversmith's Handbook*, p. 145.

et à le mettre bouillir dans de l'acide sulfurique dilué (1 partie d'acide dans 40 d'eau). On répète l'opération jusqu'à ce qu'on obtienne la couleur désirée. Cette méthode n'est pas applicable aux objets communs qui demandent un mince dépôt d'argent, obtenu par un procédé électrolytique, ou par décomposition chimique de certains sels d'argent appliqués sous forme de pâte, au lieu de les soumettre au procédé de blanchissage ci-dessus. Les objets peuvent aussi être plongés dans des solutions contenant de l'argent ; c'est le procédé par *simple immersion.*

§ **167.** — *Etat sous lequel est importé l'argent.* — « L'argent non monnayé arrive d'Amérique sous différentes formes. Celui de Névada ou du Canada est en barres rectangulaires oblongues de dimensions variables qui pèsent de 30 à 45 kilog. chacune, et contiennent de 100 à 999 d'argent pour 1000 ; elles peuvent contenir de l'or. Dans ce cas, la proportion excède rarement un tiers du poids, l'alliage ou le métal commun consistant principalement en cuivre et plomb. Le poids, le titre, le nom de l'essayeur et la valeur en dollars sont généralement marqués sur chaque barre.

« Le métal est vendu tel qu'il arrive, à moins qu'il ne soit de trop basse qualité ; il est alors refondu par un des fondeurs de la Banque d'Angleterre. Une grande quantité d'argent vient du Mexique, sous forme de dollars monnayés ; il est vendu sous cette forme sur les marchés de Chine, où les dollars sont reçus comme monnaie courante. Quelques dollars mexicains contiennent suffisamment d'or pour qu'on puisse l'extraire ; ils se distinguent généralement par certaines lettres, spécifiant la Monnaie de Mexico où ils ont été frappés ; ils sont alors mis de côté. Plata Pina est une autre forme sous laquelle l'argent est importé du Chili, du Pérou et de quelques autres localités ; cet argent, obtenu par le

procédé d'amalgamation, est en masses cylindriques ou polygonales, selon la forme des moules dans lesquels l'amalgame a été pressé avant de retirer le mercure. Il contient quelquefois de l'or ; il est préalablement fondu avant d'être vendu, s'il y a une perte de 2 à 10 0/0, due aux impuretés. Après fusion, il contient souvent 999 d'argent pur p. 1000.

« L'argent est importé de l'Amérique du Sud à l'état de monnaies (dollars boliviens) et de barres pesant de 60 à 90 kilog. chacune. Ces barres sont demi-cylindriques ou rectangulaires. L'argent en monnaies est de bonne qualité (995 à 999 p. 1000). L'argent en barres a un titre variant de 950 à 990 ; ces barres sont extrêmement dures, ce qui est dû à la présence du soufre, de l'arsenic, de l'antimoine qui les rendent souvent très cassantes. Jusqu'à 1875, elles étaient fondues à leur arrivée et raffinées, comme protection nécessaire pour l'acheteur. Elles sont maintenant vendues telles qu'elles arrivent, afin d'économiser le prix de la refonte (1). »

(1) Percy, *Gold and Silver*, vol. I, p. 301, 302.

CHAPITRE XI

ALLIAGES DE PLATINE.

§ **168**. — Le platine s'unit avec la plupart des métaux pour former des alliages, mais à cause de son haut point de fusion, il est très difficile d'obtenir des corps de composition définie contenant des constituants volatils. Il faut aussi se rappeler que des métaux, comme l'argent et le cuivre, qui dans les circonstances ordinaires ne se vaporisent pas, prennent facilement l'état gazeux au point de fusion du platine. Quand une petite quantité de platine est chauffée avec un grand excès d'un métal plus fusible, le point de fusion est suffisamment abaissé pour permettre de fondre le platine et de l'allier aux métaux aux températures de nos fours ordinaires. Pour la plupart, les alliages du platine sont plus fusibles que le platine lui-même. Si l'on désire allier beaucoup de platine avec un autre métal, on emploie un dispositif particulier, le four à chalumeau oxhydrique.

Deux blocs de chaux vive sont creusés de façon à former une cavité dans laquelle on placera le métal à fondre. La cavité dans le bloc inférieur est plus profonde que celle du bloc supérieur, car elle doit contenir le métal fondu. En son centre, le bloc supérieur est percé d'un trou à travers lequel passe un chalumeau oxhydrique ; une ouverture entre les deux blocs permet l'échappement des produits de la combustion et sert d'issue au métal fondu. Le chalumeau est un double tube concentrique, l'intérieur amenant l'oxygène,

l'extérieur l'hydrogène ou le gaz d'éclairage. La chaleur intense, développée par la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène, suffit pour fondre une quantité considérable de platine ou d'alliage de platine. Lorsqu'on prépare un alliage, le platine est d'abord fondu, puis le métal ou les métaux sont ajoutés à travers une ouverture creusée dans le haut du four et fermée par une plaque de chaux.

La flamme peut être modifiée au moyen de robinets pour obtenir un effet donné. Si l'oxygène est en excès pendant l'opération et si on est en présence d'un métal ordinaire, il s'oxydera ; il sera préférable d'avoir un léger excès d'hydrogène pour prévenir cette perte. Le métal fondu ou l'alliage préparé fondu est coulé en barres ou en lingots dans des moules en chaux, de dimensions convenables pour le tréfilage ou le laminage.

§ **169.** — *Platine et argent.* — Ces métaux s'unissent en plusieurs proportions, et donnent des alliages blancs ou gris-blanc, plus durs et plus tenaces que l'argent, et d'autant moins fusibles, moins malléables et moins ductiles qu'il y a plus de platine. Par le refroidissement, les deux métaux ont une grande tendance à se séparer d'après leurs poids spécifiques, le platine allant au fond. Les alliages contenant de 17 à 35 0/0 de platine sont employés par les dentistes et connus sous le nom de *platine au titre.* Ces alliages se ternissent moins facilement que l'argent ou les alliages ordinaires d'argent. Lewis, au siècle dernier, a préparé de petites quantités des alliages de platine suivants :

	I	II	III	IV
Argent.	1	2	3	7
Platine	1	1	1	1

Les numéros I, II et III exigent le blanc vif pour la fusion ; les produits sont durs et cassants suivant la proportion

de platine. Le numéro IV fond facilement, et l'alliage est plus dur, plus gris et d'un grain plus grossier que l'argent ; il se martelle assez bien. Il trouvait une quantité considérable de platine au fond des moules, à moins que la solidification ne se produisît immédiatement après la coulée.

Berthier dit qu'un alliage à 7 0/0 de platine est cassant (1), mais M. Matthey dément cette assertion. Un alliage à 37,5 0/0 d'argent et 62,5 de platine a une couleur intermédiaire entre l'argent et le platine ; il s'aplatit sous le marteau, mais craque sous le laminoir.

Dans les alliages peu riches en platine, l'acide nitrique dissout une certaine quantité de ce métal en même temps que l'argent. Un alliage ne contenant que 5 0/0 de platine se dissout complètement dans l'acide nitrique. Avec l'acide sulfurique, l'argent seul se dissout. Si la solution nitrique précédente est chauffée avec de l'acide sulfurique, le platine se sépare (2).

MM. Johnson et Matthey préparent un alliage extrêmement ductile de 2 parties d'argent et 1 de platine, comme article commercial. Cet alliage a été adopté comme étalon de résistance électrique.

Platine et or. — Voir *Alliages d'or.*

§ **170**. — *Platine et cuivre.* — Les alliages de ces métaux peuvent être obtenus par fusion des constituants, en toutes proportions. Il faut une haute température pour leur production ; mais le chalumeau oxhydrique n'est nécessaire que s'il y a excès de platine. Ils possèdent une ductilité, une malléabilité et une ténacité considérables ; ils donnent une variété très grande d'aspects colorés et se ternissent moins à l'atmosphère que les alliages de cuivre avec les métaux ordi-

(1) *Traité des essais*, (2) p. 800.
(2) *Handwörterbuch der Chemie*, (7) p. 958.

naires. Si la proportion de platine augmente, l'alliage devient plus dur, plus blanc et plus cassant. Susceptibles d'un beau poli, ces alliages sont employés pour les réflecteurs des télescopes.

Si on ajoute du zinc au cuivre, on a des alliages presque identiques à l'or en couleur et en brillant, supérieurs en durée ; ils sont employés dans la joaillerie et les ornements.

Un alliage de 1 partie de platine et 4 de cuivre est dur, ductile, d'une couleur jaune rosé et susceptible d'un beau poli.

D'après Clark, un alliage à parties égales en poids de cuivre et de platine est jaune ; il a la couleur et le poids spécifique de l'or, il peut être laminé, il se travaille facilement à la lime et se ternit à l'air.

Un alliage de 4 parties de platine et 96 de cuivre est malléable, d'une couleur rose et montre une cassure d'un grain fin.

Un alliage de 3 parties de platine et 2 de cuivre est presque blanc, très dur et cassant.

§ **171**. — Les alliages suivants ont une belle couleur jaune d'or. Le n° IV, connu sous le nom d'or de Cooper, est malléable, ductile et ressemble beaucoup à l'or-18 carats.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Platine	18,2	5	29,3	18,75	57,7	66,7	29,1	19
Cuivre	45,5	»	66,7	81,25	38,5	29,1	66,7	81
Zinc	»	»	4	»	3,8	4,2	4,2	»
Argent	9	5	»	»	»	»	»	»
Laiton	18,2	60	»	»	»	»	»	»
Nickel	9	30	»	»	»	»	»	»

Métal à miroir de Cooper.— Cuivre : 57,85 ; platine : 9,49 ; zinc : 27,49 ; arsenic : 1,66. L'inventeur prétend que cet alliage est indifférent à l'action des intempéries et qu'il prend un beau poli.

Métal à plumes de Cooper. — L'alliage ci-dessus est réputé très bon pour les plumes. Un autre consiste en 13 parties de cuivre, 50 de platine et 30 d'argent. La dureté et la résistance à la corrosion des alliages de Cooper les rendent convenables pour la fabrication des instruments de mathématiques et pour les roues de chronomètres.

§ **172.** — *Platine et iridium.* — Ces métaux s'unissent en différentes proportions, mais il faut le chalumeau oxhydrique pour les fondre et les allier. L'alliage à 9 parties de platine et 1 d'iridium est employé comme étalon pour le système métrique. Extrêmement dur, aussi élastique que l'acier, plus difficilement fusible que le platine, parfaitement inaltérable à l'air, il est capable de prendre un poli excessivement beau.

En 1870, MM. Johnson, Matthey et Cie ont préparé avec cet alliage une barre étalon pour la Commission parisienne du Système métrique international. L'alliage a été soumis à tous les essais possibles, et après des expériences prolongées deux ans, il fut reconnu comme le meilleur et adopté pour la construction de tous les étalons des poids et mesures.

Les alliages suivants ont été préparés par Deville et Debray; leurs poids spécifiques ont été déterminés :

Platine	Iridium	Poids spécifiques
90	10	21,615
85	15	21.618
66,67	33,33	21,874
5	95	22,384

Le poids spécifique du platine est 21,504, et celui de l'iridium 22,421. D'après Deville et Debray, un alliage de 90 parties de platine et 10 d'iridium a le même coefficient de dilatation que le mètre original conservé en France aux Archives, reconnu comme étant fait de platine impur.

L'alliage à 90 0/0 de platine n'est pas attaqué par l'eau régale.

Les alliages à 20 0/0 d'iridium sont malléables et peuvent être travaillés. Un alliage à parties égales des deux métaux est cassant, mais susceptible d'être soudé. Un alliage de 1 partie d'iridium et 10 de platine, sert à doubler le cuivre, daus la construction des miroirs métalliques.

On trouve un alliage natif de platine et d'iridium dans l'Oural et le Brésil.

Les vases en platine, employés pour les opérations chimiques, contiennent généralement de l'iridium, qui les rend plus durs et plus résistants.

§ **173**. — *Alliages du platine avec les métaux facilement fusibles.* — Le platine se combine facilement avec l'*arsenic* et l'*antimoine* ; il y a incandescence et production d'alliages cassants et très fusibles.

L'*étain* s'unit au platine ; si les métaux sont fondus ensemble en parties égales, ils forment un alliage dur, de couleur sombre, quelque peu fusible, cassant et d'un grain grossier.

Le *zinc* donne un alliage de propriétés semblables à celui d'étain.

Le *platine* et le *plomb* se combinent facilement, et très peu de plomb suffit pour rendre le platine cassant. Si l'on verse du plomb fondu sur du platine, une portion de ce dernier est fondue et dissoute dans le plomb. Les alliages sont durs, cassants et granulés.

Le *platine* et le *bismuth* donnent des alliages cassants. M. Lewis a trouvé que les alliages contenant de 1 à 24 parties de bismuth pour 1 de platine sont cassants, facilement fusibles, et ont une cassure lamiuaire. Au contact de l'air, ils acquièrent une teinte pourpre ou violette. Modérément chauffés, quelques-uns se liquatent, le bismuth se séparant partiellement. Fortement chauffés à l'air, le bismuth s'oxyde et donne de l'oxyde de bismuth.

Le platine se combine au *cadmium* jusqu'à ce que l'excès de ce dernier métal soit volatilisé ; on a un alliage blanc d'argent, très sec, d'un grain fin, réfractaire au feu, contenant 46 0/0 de platine.

§ **174** — *Platine et nickel.* — D'après Lampadius, parties égales de nickel et de platine se combinent pour donner un alliage d'un blanc jaunâtre pâle, parfaitement malléable, susceptible d'un beau poli, analogue au cuivre comme fusibilité et au nickel comme pouvoir magnétique.

§ **175**. — *Platinor.* — Ce nom est donné à certains alliages contenant du platine, d'une couleur jaune d'or, et consistant en platine, cuivre, argent, zinc et nickel. Un alliage, de la couleur de l'or et réputé inaltérable à l'air, est préparé de la façon suivante : fondre 10 parties d'argent avec 45 de cuivre, puis ajouter 18 de laiton et 9 de nickel. On élève la température le plus qu'on peut, et on ajoute alors 18 parties de noir de platine.

§ **176**. — *Bronze de platine.* — Quelques alliages de platine, relativement peu coûteux, ont été faits sous le nom ci-dessus ; il a été établi qu'ils sont indifférents à l'action de l'air et de l'eau. Ils sont susceptibles d'un beau poli et conservent leur brillant pendant longtemps. Le tableau suivant donne leur composition et leurs usages.

EMPLOIS	PARTIES				
	Ni	Pt	Sn	Ag	Laiton
Ustensiles de table.	90	0,9	9	»	»
Cloches	81,5	0,8	16	1,7	»
Articles de luxe	86,5	0,5	13	»	»
Tubes de télescopes, etc. . . .	71,0	14,5	14,5	»	»
Ornements.	31,6	3,2	»	»	65,2

CHAPITRE XII

ALLIAGES DE FER ET D'ACIER.

§ **177**. — Autrefois l'opinion générale était que les alliages de fer offraient peu d'intérêt, ce qui était dû à une connaissance imparfaite de leur nature et de leurs propriétés. Mais actuellement, le sujet est plus connu ; si nous étendons l'idée d'alliage aux composés qui contiennent de très-petites quantités d'autres métaux, les alliages de fer doivent être considérés comme très importants.

Le fer peut être allié à la plupart des métaux ; mais la combinaison est quelque peu difficile à effectuer, et dans la majorité des cas, il n'y a que les alliages avec une petite quantité de fer ou du fer avec une petite quantité d'autres métaux qui aient été l'objet d'applications utiles. Le fer, ajouté aux autres métaux ou aux alliages, leur communique quelquefois de nouvelles et d'importantes propriétés, telles qu'augmentation de la dureté, de l'élasticité et de la ténacité. Beaucoup des métaux les plus récemment découverts ont été ajoutés au fer et ont modifié plus ou moins ses propriétés, et de telles combinaisons sont maintenant des articles commerciaux ordinaires.

Dans la description suivante des alliages de fer, les métaux connus sous le nom de *fer malléable*, de *fonte* et d'*acier* ne sont pas traités comme métaux séparés, mais considérés comme différentes variétés du fer.

§ **178**. — *Fer et manganèse*. — Notre connaissance de ces

alliages a été considérablement augmentée pendant ces quelques dernières années par les travaux de M. R. A. Hadfield de Sheffield. Le fer s'unit facilement au manganèse, et si la proportion de ce dernier métal est considérable, l'alliage est très dur, plus blanc, plus fusible et beaucoup plus aigre que le fer. En petite quantité, 0,4 à 0,5 0/0, le manganèse est très utile dans l'acier, et quelques-uns des meilleurs aciers contiennent un peu de manganèse. L'acier contenant de 2,5 à 7 0/0 de manganèse est cassant et relativement sans valeur, mais si la proportion excède 7 0/0, l'alliage obtenu possède une très grande résistance et une très grande ténacité (1). La faiblesse des alliages à faible pourcentage est mise en évidence par les expériences de M. Hadfield. Des barres de métal fondu de 16 cmq. et 75 cm. de long, supportées par des appuis distants de 0 m. 60, ont été rompues par la pression hydraulique. Un échantillon contenant 0,37 0/0 de carbone et 4,45 de manganèse fut cassé par une pression de 3660 kilog., pendant qu'une barre de fonte ordinaire supportait 12000 kilog. et que des barres contenant de 17 à 20 0/0 de manganèse supportaient respectivement une pression de 30000 et 38600 kilog. Une barre contenant 4,73 0/0 de manganèse, tombant de 0 m.90 à 1 m.20 sur un plancher en fonte, s'est brisée en deux ou trois endroits. Un échantillon, contenant 0,48 de carbone et 4,9 de manganèse, quoique très ductile à chaud, peut être réduit en poudre à froid avec un marteau à main, peu ou point de cohésion semblant exister entre les particules. D'autre part, un échantillon de métal forgé, contenant 13,75 de manganèse et 0,85 de carbone, et trempé par l'eau, a une résistance à la tension de 102 kilog. par mmq., avec 50 0/0 d'allongement ; un autre spécimen

(1) Hadfield, *Paper on Manganese alloys* ; I. C. Eng. (28 fév. 1888).

a présenté une résistance de 108 kilog. et 46 0/0 d'allongement. L'alliage le plus résistant contient environ 14 0/0 de manganèse.

Si on plonge l'acier manganèse dans l'eau, il ne se durcit pas comme avec l'acier ordinaire, mais pour le métal contenant plus de 7 0/0 de manganèse, la ténacité et la dureté sont augmentées. Il résulte d'un grand nombre d'essais que l'effort de rupture est d'autant plus élevé et la dureté et l'élongation d'autant plus grandes que la température à laquelle l'alliage a été porté est plus haute et son refroidissement plus rapide. L'influence de l'eau dans la trempe de l'acier au manganèse est très évidente dans les alliages destinés à être étirés en fils. Si l'on essaie d'étirer des baguettes martelées ou laminées sans un chauffage et une trempe préalables, on n'obtient aucun résultat, et un recuit ordinaire ne donne aucune différence. Si cependant l'alliage est porté à une température convenable, puis plongé dans l'eau froide, il peut être facilement étiré. Après avoir réduit le fil de deux numéros de la jauge, le métal est de nouveau chauffé et plongé dans l'eau. Par ce moyen, il peut être étiré à un degré convenable de finesse.

La densité de l'acier au manganèse est un peu plus élevée que celle de l'acier ordinaire. Dans son état habituel, il est très dur. S'il y a plus de 20 0/0 de manganèse, l'alliage est pratiquement non magnétique. Le D[r] Hopkinson a trouvé que les maxima de magnétisme du fer forgé et de l'acier au manganèse (12,36 0/0) sont comme 258 est à 1. L'acier au manganèse ne montre aucun allongement sous l'influence magnétique.

L'acier au manganèse ne subit pas de dilatation anormale, ni le phénomène de *récalescence*, qui a lieu avec les métaux magnétiques lorsqu'ils sont refroidis à une certaine tempéra-

ture critique après avoir été chauffés au blanc. Une maison de Sheffield rapporte qu'en laminant une longueur considérable d'acier au manganèse, plus il devenait fin, plus de chaleur il retenait ; en fait, il semblait emmagasiner de la chaleur durant l'opération.

Le *ferromanganèse* est une variété de métal spécialement fabriqué au haut-fourneau avec des minerais riches en oxyde de manganèse, et exclusivement employé pour la fabrication de l'acier doux. Lorsque la fonte contient moins de 20 0/0 de manganèse, sa cassure présente des plans de clivage tout à fait cristallins ; c'est le *spiegeleisen*. La variété connue comme ferromanganèse est un corps dur et cristallin, mais la surface de cassure ne présente pas les grands plans de clivage si caractéristiques du *spiegeleisen*. Il contient 20 à 85 0/0 de manganèse. Pour plus de détails, voir l'ouvrage de l'auteur sur *Iron and Steel Manufacture* (Macmillan).

§ 179. — *Fer et nickel.* — Ces métaux s'unissent ensemble pour donner une série d'alliages qui ont été très étudiés dans ces derniers temps ; et quoique la plupart d'entre eux contiennent de petites quantités d'autres métaux, tels que le manganèse, ils seront étudiés sous la dénomination précitée. Certains alliages natifs, les aérolithes, renferment de 3 à 10 0/0 de nickel. Faraday et Stodard ont préparé des alliages de fer et de nickel contenant respectivement 3 et 10 0/0 de nickel. Le premier semblait être malléable et pouvait être travaillé comme le fer pur. Le dernier était semi-ductile, très tenace, avec une cassure granulée et s'altérait peu à l'air. Tous deux sont susceptibles d'un beau poli. Bergmann dit que le fer et le nickel se combinent en toutes proportions, et Lampadius qu'un alliage de 5 parties de nickel et 2 parties de fer est modérément dur, facilement malléable, de la couleur de l'acier.

M. James Riley de Glasgow et M. Hall de Sheffield ont étudié, chacun de leur côté, les alliages fer-nickel, et dans un mémoire lu par M. Riley devant *the Iron and Steel Institute* en mai 1889, les faits suivants sont relatés : « Les alliages peuvent être faits dans un creuset, ou sur une grande échelle dans un four Siemens, une telle opération demandant sept heures. Il ne faut aucun soin particulier, et la composition de l'acier résultant est facilement contrôlée. Si le travail est bien dirigé, presque tout le nickel se retrouve dans l'acier, le laitier n'en contenant que des traces. Le métal est plus fluide que l'acier ordinaire à l'état fondu ; il se prend plus rapidement, et semble tout à fait homogène. Les lingots sont purs et doux en apparence à l'extérieur, mais les plus riches en nickel sont un peu plus plastiques que ne le sont les lingots d'acier doux ordinaire. Il y a moins de liquation des métalloïdes, et par suite moins de dangers pouvant résulter de cette cause. Les rognures obtenues pendant le martelage, le laminage, etc., peuvent être refondues au cours d'une autre opération, sans qu'il y ait perte de nickel.

« Si l'acier a été bien fait et s'il est d'une composition correcte, il se martellera et se laminera bien, qu'il contienne peu ou beaucoup de nickel. Il faut cependant se rappeler que dans l'acier au nickel, nous avons du nickel, du manganèse et du fer, avec du carbone, du silicium, du phosphore et du soufre, et qu'une différence en quantité de ces corps influencera le caractère de l'alliage ; en d'autres termes, le degré de pureté du fer et du nickel employés modifiera le résultat, comme dans le cas du fer et de l'acier ordinaires. » Le tableau suivant donne les résultats des essais faits par M. Riley sur divers alliages :

Essais d'aciers contenant des quantités variables de nickel

Numéros.	Composition pour 100, sauf le fer: Ni	C	Mn	Essais de tension sur pièces fondues: Lim. élast. en tonnes	Effort de rupture en tonnes	Extension p. 100 en cent.: 20 cm 32	10 cm 16	Contraction de la section p. 100	Essais de tension sur pièces fondues et recuites: Lim. élast. en tonnes	Effort de rupture en tonnes	Extension p. 100 en cent.: 20 cm 32	10 cm 16	Contraction de la section p. 100	Essais de tension sur pièces laminées: Lim. élast. en tonnes	Effort de rupture en tonnes	Extension p. 100 en cent.: 20 cm 32	10 cm 16	Contraction de la section p. 100	Essais de tension sur pièces laminées et recuites: Lim. élast. en tonnes	Effort de rupture en tonnes	Extension p. 100 en cent.: 20 cm 32	10 cm 16	Contraction de la section p. 100
1	1,2	0,42	0,58	Pièce défectueuse.					27,8	53,6	»	3,8	9,5	32,6	58,5	»	27,9	24	30,6	36,0	»	47,5	45
2	2,0	0,90	0,50	Trop dur à la machine avec acier Mushet. — Donne de très bons outils étant trempé au rouge sombre dans l'eau bouillante.																			
3	3,0	0,35	0,57	20,0	35,4	»	6,3	5,6	24,4	35,5	»	6,3	9,0	31,9	51,8	»	51,6	37,0	26,4	49,3	»	26,2	42
4	3,0	0,60	0,26	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	29,9	52,3	22,9	25,6	9,0	30,8	43,6	19,1	22,9	12
5	4,0	0,85	0,50	Trop dur à la machine avec acier Mushet. — Donne de très bons outils étant trempé au rouge sombre dans l'eau bouillante.																			
6	4,7	0,22	0,23	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	25,5	41,1	46.1	59,4	42,0	28,4	41,2	50.8	63,5	44.8 (1)
7	5,0	0,30	0,30	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	30,5	47,1	25,4	31,7	22,5	28,4	43,3	38,1	44,5	18,5 (1)
8	5,0	0,50	0,34	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	31,6	52,8	35,5	39,6	14.0	33,0	47,5	34,3	35,6	17,0 (1)
9	10,0	0,50	0,50	Trop dur à la machine. — Donne de bons outils coupants étant trempé dans un courant d'air froid.																			
10	25,0	0,27	0,85	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	38,8	52,2	26,7	29,7	»	12.9	46,5	73,7	76,2	28,6
11	25,0	0,82	0,52	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	22,3	48,4	110,4	120.0	60,0	15,3	42,8	101,6	115.0	43,6
12	49,4	0,35	0,57	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20,8	38,0	»	40,5	24,0	21,3	37,6	»	50,8	29,0

(1) Moyenne fournie par un morceau donnant un bas résultat.

Le tableau montre que l'addition de nickel à l'acier doux augmente considérablement la limite élastique et l'effort de rupture. Dans les nos 2 et 5, l'extrême dureté, due en partie à la grande quantité de carbone, est aussi augmentée par la présence du nickel. Le n° 9, qui contient moins de carbone, mais qui renferme 10 0/0 de nickel, est très dur. Cette qualité de dureté s'accroît avec la proportion de nickel jusqu'à 20 0/0 ; au-dessus, il y a tendance à production d'un acier moins dur et plus ductile. Cette action du nickel ressemble quelque peu à ce que l'on a vu plus haut pour l'acier au manganèse. Tous les aciers au nickel jusqu'à 50 0/0 prennent un beau poli, avec une belle surface, d'autant plus claire qu'il y a plus de nickel.

M. Riley dit que les aciers riches en nickel sont pratiquement non attaquables, et que ceux pauvres en nickel sont meilleurs que les autres aciers, à ce même point de vue. L'acier à 1 0/0 de nickel se soude très bien, mais cette propriété diminue en même temps qu'augmente la proportion de nickel. D'après M. Hall, les alliages fer-nickel sont parmi les plus puissants en tant que magnétiques. La conductibilité électrique de ces alliages est extrêmement faible, et leur résistance extrêmement grande.

Les alliages fer-nickel peuvent être préparés par fusion du fer et du nickel, en réduisant l'oxyde de nickel par le charbon en présence du fer, ou en ajoutant du ferromanganèse au fer et au nickel fondus si l'on veut obtenir l'acier au nickel. M. Riley dit que l'on n'a aucune chance de succès, si l'on n'emploie pas le manganèse.

§ **180.**— *Fer et cobalt.*— D'après les expériences de Brande et de Bergmann, ces métaux se combinent en toutes proportions. Ces alliages sont réputés durs et aussi ductiles que le fer. Hassenfatz a montré que le fer contenant du cobalt peut

être forgé et soudé, et quoiqu'un peu fragile à chaud, il ne l'est pas à froid. D'après Berzélius, les alliages de ces métaux sont durs et magnétiques. Il est probable que l'action du cobalt sur le fer est semblable à celle du nickel, à cause de la similitude de ces métaux dans beaucoup de leurs propriétés physiques et chimiques.

§ **181**. — *Fer et molybdène*. — Le Dr Thompson considère que, de tous les métaux, le molybdène est l'un de ceux avec lesquels le fer s'unit le plus facilement. Avec parties égales des deux constituants, l'alliage fond au chalumeau. On obtient un alliage d'une couleur blanc-gris clair si l'on prend 1 partie de fer et 2 de molybdène. Un alliage à 20 0/0 de molybdène est plus blanc que le fer, très dur, cassant, tenace ; sa fracture est granulée. Berthier rapproche les alliages fer-molybdène des alliages fer-tungstène. Ils sont généralement blanc-grisâtre, durs, cassants ; le grain est fin, ils sont magnétiques. S'il y a moins de 50 0/0 de molybdène, les alliages sont assez fusibles. Les *loups* de cuivre dans les fourneaux à vent, comme on appelle les masses que l'on trouve dans l'avant-creuset des anciens fourneaux à vent pour cuivre, consistent principalement en fer et molybdène.

§ **182**. — *Fer et chrome*. — Ces métaux ont beaucoup d'affinité l'un pour l'autre et semblent former des alliages en toutes proportions. Le fer chrômé est assez abondant dans la nature, et lorsqu'un tel minerai est soumis à une influence réductrice à une haute température, les deux métaux sont réduits. Berthier dit que si un mélange d'oxyde de fer et d'oxyde de chrome est fortement chauffé dans un creuset garni de charbon, les deux oxydes sont complètement réduits, et on obtient une combinaison parfaitement homogène. Les alliages sont généralement durs, cassants, cristallins, d'une couleur blanc-grisâtre, d'un éclat

considérable ; moins fusibles, moins magnétiques et moins solubles dans les acides que le fer ; ces caractères sont d'autant plus marqués qu'il y a plus de chrome.

En 1820, Faraday a produit deux échantillons d'acier chromé (1). Ils se forgeaient bien, étaient aussi malléables que le fer pur, et donnaient un beau damassé par l'action de l'acide sulfurique. Le pourcentage en chrome devait être faible. Ce damassage de l'acier chromé est intéressant si nous remarquons qu'il ne se produit pas avec l'acier ordinaire, et qu'on ne l'obtient qu'avec les échantillons les plus purs de fer malléable, à la condition de prendre beaucoup de précautions. Schneider (2) a montré que la fonte chromée n'est pas un corps homogène, et le fait que l'acier au chrome se damasse indiquerait que cette observation s'applique également à l'acier. Deux alliages préparés par Berthier, l'un à 0,1 0/0 de chrome, l'autre à 0,15, se forgeaient bien et donnaient des rasoirs et des lames d'épées d'excellente qualité.

M. Brustlein, d'Unieux (France), a commencé la fabrication de l'acier chromé en 1875. Le ferrochrome est produit dans des creusets, et une certaine proportion de cet alliage riche est ajoutée à l'acier. Les spécimens usuels de ferrochrome contiennent de 42 à 52 0/0 de chrome. Le métal est coulé dans des moules en fer et refroidi. Le tableau suivant donne la composition centésimale de divers échantillons ; il est intéressant de noter la grande quantité de carbone retenue par les alliages :

	Pour 100 :							
Chrome . . .	80	66	52	42	25	18	16	12
Carbone . . .	11	9,5	7,8	7,3	6,7	6,2	2,7	2

(1) *Quarterly Journal of Science*, 1820.

(2) *Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, 1886, t. XXXIII, p. 29.

Le reste serait du fer et du silicium, ce dernier excédant quelquefois 2 0/0. La dureté et la fragilité augmentent avec la proportion de carbone et de silicium. Si le ferrochrome est refroidi lentement, il cristallise en une masse d'aiguilles, d'autant plus apparentes qu'il y a moins de carbone.

En ce qui concerne le magnétisme, le chrome a un effet beaucoup moins puissant que le manganèse pour détruire les propriétés magnétiques du fer ; le fer contenant 65 0/0 de chrome est encore attiré par un aimant.

Dans la fabrication de l'acier, on peut employer des proportions variées de chrome. Brustlein dit que l'acier contenant 2 0/0 de carbone et 12 0/0 de chrome peut être forgé. La présence du chrome dans l'acier augmente sa ténacité, et lui communique une plus grande résistance à l'écrasement. Il rend aussi l'acier plus difficile à travailler à la lime ou au tour, en proportion de la quantité de carbone présent. L'acier trempé contenant du chrome a un grain très fin et se brise avec une cassure vitreuse. L'acier au chrome ne peut pas être soudé ; il brûle, quand il est fortement chauffé, ce qui est dû à la grande affinité du chrome pour l'oxygène ; l'oxyde formé est infusible, même au point de fusion de l'acier. Dans le tableau précédent, on voit que les ferrochromes peuvent être combinés avec des proportions exceptionnellement grandes de carbone ; en conséquence, ils peuvent être employés à la place de ferromanganèse pour faire l'acier Bessemer ou Siemens. Mais l'acier extra-doux, contenant beaucoup de chrome, est actuellement impossible à obtenir. Un ferrochrome contenant peu de carbone est très oxydable et presque infusible, de sorte que l'on aura beaucoup de difficultés à remplacer le ferromanganèse par le ferrochrome.

§ **183**. — *Fer et titane*. — La fonte contient quelquefois du titane, si elle vient de minerais contenant ce métal qui se

rencontre souvent dans les minerais de fer. Le titane est ou disséminé au milieu du fer, ou allié avec lui. Quelques analyses de fonte grise de Wiltshire, faites par M. Riley, ont donné respectivement 1,15, 0,71, 0,47 0/0 de titane. Mais le fer provenant des minerais titanifères peut être tout à fait exempt de titane. En 1877, M. Riley montrait que l'acier au titane de Mushet ne contenait pas de titane (1). Faraday échoua dans la réduction de l'acide titanique, bien qu'il dise que le rhodium, et imparfaitement le platine, aient été fondus dans le creuset qu'il employa. En 1742, M. Horne fondit avec succès les minerais titanifères du Canada, et obtint un bon acier. Il est à noter que les minerais de fer titanifères sont pratiquement exempts de phosphore, ce qui explique facilement la bonne qualité du produit obtenu. Nous pouvons admettre que l'acier au titane n'existe que de nom. Ce qui se trouve de titane dans la fonte passe dans le laitier au moment de l'affinage.

§ **184**. — *Fer et tungstène.* — Ces métaux s'unissent pour donner des alliages importants ; l'acier contenant du tungstène est très recherché pour les instruments tranchants. D'abord, l'oxyde de tungstène et le charbon furent fondus dans des creusets avec de la fonte suédoise ou avec de la fonte provenant de bonne hématite. L'acier est maintenant fait en introduisant un alliage riche contenant plus de 50 0/0 de tungstène dans le creuset ou dans le bain de métal. L'acier au tungstène est connu en Angleterre sous le nom d'*acier spécial de Mushet.* Il possède une dureté propre naturelle, et s'il tient plus de 3 0/0 de tungstène, au lieu d'être durci par échauffement et trempe subséquente dans l'eau, comme l'acier ordinaire, il est adouci. Très difficile à forger et impos-

(1) *Iron and Steel Institute*, 1887. — Brevets de Mushet, 1859 à 1861.

sible à souder s'il y a plus de 2 0/0 de tungstène ; il peut être coulé sous la forme d'outils susceptibles d'être rendus tranchants. Le tungstène donne à l'acier une structure très fine et uniformément cristalline, et un tel acier s'altère moins à l'air que l'acier ordinaire. M. Stroh dit que l'acier au tungstène possède des propriétés magnétiques remarquables (1). Il emploie un alliage à 3 0/0 de tungstène pour les aimants de téléphone avec un avantage marqué. Quelques expérimentateurs prétendent que le tungstène communique à la fonte une grande dureté et une grande ténacité, mais Guettier n'a trouvé, en ajoutant du tungstène à la fonte, aucun accroissement de la résistance au choc ni à la flexion. L'opinion générale semble être que le tungstène dans l'acier est avantageux pour certains usages, mais que la méthode d'obtention de ces aciers est trop onéreuse pour que sa fabrication sur une grande échelle puisse réussir commercialement. Sieward a examiné six échantillons d'acier au tungstène : quatre contenaient de 0,1 à 3 0/0 de tungstène ; deux n'en contenaient pas du tout. Les meilleurs résultats sont obtenus en partant de minerais de fer contenant un peu d'oxyde de tungstène. La difficulté de fabriquer des alliages stables avec le tungstène est augmentée par son haut point de fusion et sa grande densité.

§ **185**. — *Fer et cuivre.* — D'après Guettier (2), les alliages de fer et de cuivre sont difficiles à obtenir par fusion directe des métaux. Le cuivre reste à l'état pulvérulent à l'intérieur du fer ; il a une tendance à se précipiter au fond de la masse fluide, ou dans les moules, et la combinaison est généralement incomplète. Le cuivre communique à la fonte un éclat grisâtre, probablement dû au cuivre non combiné.

(1) *Transactions of Soc. of Telegr. Eng.*, 1882.
(2) *Guide pratique des alliages*, 1865.

Le cuivre est considéré comme très nuisible dans le fer et l'acier, même en petite quantité ; mais M. Willis de Landore a indiqué dernièrement que 0,1 0/0 de cuivre ne produisait aucun effet appréciable sur la qualité de l'acier. Les effets attribués au cuivre sont très marqués s'il y a du soufre en quantité notable ; le métal est cassant à chaud. M. Choubey, des forges de Firminy, a expérimenté de l'acier phosphoré contenant du cuivre : un métal contenant 0,5 0/0 de carbone, 0,15 de phosphore, 0,04 de soufre et 1 de cuivre se laminait parfaitement bien.

MM. Ball et Wingham ont étudié l'influence du cuivre sur la résistance à la traction du fer et de l'acier (1). Un alliage contenant :

Cuivre	7,550
Carbone.	2,720
Manganèse.	0,290
Silicium.	0,036
Phosphore	0,130
Soufre	0,190

était cassant, de couleur blanche, cristallin, très dur ; il n'offrait aucune résistance au choc. Des quantités variables de l'alliage furent fondues avec de l'acier Bessemer, et des échantillons de 2 cm. 5 sur 0 cm. 6 et 0 cm. 5 furent recuits et essayés. Les résultats suivants furent obtenus :

N°s	Cuivre	Carbone	Résistance à la traction
1	0,847	0,102	18,3
2	2,124	0,217	36,6
3	3,630	0,380	47,6
4	7,171	0,712	56,0

(1) *Iron and Steel Institute*, mai 1889.

Ces expériences montrent que le cuivre augmente la résistance à la traction du fer ; la présence simultanée du carbone concourt au même effet. Dans le n° 1, la cassure était quelque peu fibreuse ; dans les autres, elle était très cristalline. Même en l'absence du carbone, le cuivre rend le fer extrêmement dur.

M. Stubbs dit que la présence de 0,5 0/0 de cuivre dans l'acier empêche son oxydation au rouge étincelant.

§ **186**. — *Fer et étain.* — Ces métaux peuvent être alliés ensemble dans différentes proportions, mais les combinaisons sont cassantes, et le point de fusion s'abaisse avec la proportion d'étain. Une petite quantité de fer dans l'étain lui communique une plus grande dureté et un éclat plus terne. Une petite quantité d'étain dans le fer le rend cassant à froid et à chaud. La fonte contenant de l'étain peut avoir une cassure aussi fine que celle de l'acier ; elle devient noire, susceptible d'un beau poli et se ternit moins à l'air que la fonte ordinaire. Une proportion de 2 0/0 d'étain rend le métal sec et cassant, et le fer provenant d'une telle fonte est dur et moins malléable. Les alliages suivants ont été étudiés par Guettier (1).

	I	II	III	IV
Fer	30	50	70	90
Etain	70	50	30	10

Le n° I a une cassure gris sombre et est un peu ductile.

Le n° II est blanc, cassant et a une cassure granulée.

Le n° III est cristallin, avec une texture gris fer ; il peut être pulvérisé sous le marteau.

Le n° IV est gris clair. Le grain, qui est sec et sans bril-

(1) *Guide pratique des alliages*, 1865.

lant, est limé avec grande difficulté. Il est très dur et cassant. Poli, il a un bel éclat et est blanc-grisâtre.

Un alliage de fer et d'étain serait préférable à l'étain pur pour l'étamage des vases en cuivre.

§ **187.** — *Fer et zinc.* — Ces métaux s'unissent ensemble pour former une série d'alliages qui sont durs, plus ou moins cristallins, cassants. La difficulté de fusion des alliages par fusion directe est due au haut point de fusion du fer et à la volatilité du zinc. Greenwood dit que 7 0/0 est la quantité maxima de fer que le zinc peut retenir ; mais Guettier a obtenu des alliages contenant 50 0/0 de zinc et au-dessus en versant le zinc dans un bain de fonte fondue, à l'aide d'un tube de fer. Les alliages deviennent plus blancs et légèrement plus malléables à mesure que la proportion de zinc augmente.

§ **188.** — *Fer et aluminium.* — Ces métaux s'unissent en proportions diverses, donnant des alliages durs, blancs et cassants, s'il y a de l'aluminium en notable quantité. Les alliages, connus sous le nom de *ferro-aluminium*, ont été préconisés ces dernières années, et employés pour introduire de petites quantités d'aluminium dans l'acier et la fonte au lieu d'ajouter du métal pur. Si l'aluminium excède une certaine quantité (17 0/0), l'alliage devient non magnétique, et comme le ferro-manganèse, n'est pas attiré par un aimant. L'aluminium ajouté au fer et à l'acier fondu abaisse leurs points de fusion, augmente la fluidité du métal, facilite la coulée dans les moules et la solidification sans production de soufflures. M. Nordenfelt ajoute une petite quantité d'aluminium au fer forgé, de façon à abaisser suffisamment son point de fusion et à le couler comme la fonte ordinaire. La « Cowles Electric Smelting Company » fait maintenant de grandes quantités de ferro-aluminium ; elle estime que cet alliage est

parfaitement homogène, et que si une poche d'acier fondu est versée sur une portion du métal, l'aluminium est également réparti à travers toute la masse. L'action d'une petite portion d'aluminium sur l'acier est d'élever sa limite élastique et sa résistance maximum, aussi bien que de lui communiquer les propriétés ci-dessus.

L'effet de l'aluminium sur la fonte a été étudié par M. Keep de Michigan ; il dit que l'apparence de la cassure est une bonne indication de la nature du métal, et qu'une barre de 6 cmq., plus qu'aucune autre dimension, montre par le changement du grain l'effet des variations de composition (1). Une barre plus petite se refroidit si vite qu'on ne peut observer aucun changement appréciable, tandis qu'une barre plus grosse retient sa chaleur assez longtemps pour qu'on ne remarque aucune tendance vers un grain blanc. M. Keep a commencé ses essais avec une fonte qui contient 1,27 de graphite,1,71 de carbone combiné et 0,08 de silicium,et qui donne des pièces pleines de soufflures. A une portion de cette fonte, fut ajouté du ferro-aluminium, de façon à obtenir un métal contenant 0,25 d'aluminium, 1,37 de graphite et 0,2 de silicium p. 100. Le résultat fut un grain plus égal, et il ne se produisit aucune soufflure. Le silicium avait augmenté et contribué à accroître la dureté de la pièce.

Par addition de silicium seul à la fonte ci-dessus, on obtint une coulée presque aussi saine, mais pas aussi forte, spécialement dans la résistance au choc. L'effet de l'aluminium sur la fonte blanche ou truitée est de convertir le carbone en graphite, comme fait le silicium, mais sans affaiblir la pièce. Si la fonte contient tout son carbone à l'état de graphite, il n'y a aucun avantage à ajouter de l'aluminium.

(1) Voir *Proceedings of american Assoc. for Advancement of Sc.* (août 1888) et *Proceedings of american Institute of mining Engineers* (1889).

D'après M. Keep, l'aluminium par lui-même n'augmente pas la résistance de la fonte ; mais son influence est due à son action sur le carbone. En outre, comme l'aluminium amenant la transformation du carbone en graphite lorsque le métal est refondu, une partie du carbone séparé monte à la surface et est complètement éliminé de la fonte ; la résistance de la pièce est ainsi augmentée. Les fers rendus gris par l'aluminium sont recherchés pour la fabrication des pièces minces, où la résistance aussi bien que la douceur sont demandées.

L'introduction d'aluminium dans la fonte fondue est accompagnée de sérieuses difficultés. Si le ferro-aluminium, brisé en petits morceaux, est introduit dans la poche avant que le métal ne soit pris, il fondra au contact du fer ; dans le cas contraire, il se solidifiera une couche de fer autour de lui. Dans ces conditions, le métal surnage. L'aluminium pur jeté sur le fer fondu fond et s'enfonce dans le métal, mais le tout ne semble pas rester dans le fer, comme s'il était introduit sous la forme de ferro-aluminium. L'aluminium introduit dans la poche de fonderie, en très petite quantité, détermine rapidement l'ébullition du fer, probablement à cause des particules de graphite mises en liberté. Cette ébullition est si rapide que le laitier qui est à la surface est souvent entraîné en dehors du récipient.

CHAPITRE XIII

ALLIAGES DIVERS.

§ **189**.— *Alliages des rouleaux et grattoirs pour impressions d'indiennes.* — Le métal requis doit être suffisamment mou pour être travaillé par les outils, et assez dur pour résister à l'usure ; de plus, il doit pouvoir résister à l'action corrosive des liquides avec lesquels il est en contact.

Hauvel recommande un bronze de la composition suivante : cuivre, 84 ; étain, 14 ; zinc, 2. Un autre alliage contient 78,5 de zinc, 15,8 d'étain et 5,6 de cuivre. Les analyses suivantes, faites par Dépierre et Spiral, se rapportent aux grattoirs employés pour enlever l'excès de couleur sur les rouleaux :

	Cuivre	Zinc	Etain
Grattoirs français. . .	78,75	12,50	8,75
» anglais. . .	80,50	11,50	8,00
» allemands .	85,30	9,80	4,90

La Société Industrielle de Mulhouse, il y a quelques années, a institué un prix pour récompenser l'inventeur du meilleur alliage. Ce métal doit posséder en même temps l'élasticité et la ténacité, la dureté et la flexibilité, sans être sensiblement attaqué par les produits chimiques employés dans l'impression. MM. Dépierre et Spiral classent les alliages pour grattoirs en trois groupes : 1° cuivre, avec 95 à 100 0/0 de cuivre ; 2° laiton, avec environ 60 0/0 de cuivre et 40 de zinc ; 3° laiton contenant des proportions notables de plomb et d'é-

tain. Le tableau suivant donne les propriétés physiques des alliages examinés par ces expérimentateurs :

TABLEAU I

Echantillon	Couleur.	Classe.	Densité.	Grain.	Dureté.	Remarques.
1	Rouge.	1	8,22	Grossier.	Dur.	»
2	id.	1	8,83	Fin.	id.	»
3	id.	1	8,82	Grossier.	Très mou.	»
4	id.	1	8,83	Très fin.	Moyen.	»
5	Jaune.	3	8,40	Grossier.	Dur.	Soufflures.
6	id.	2	8,25	Très fin, homogène.	id.	»
7	id.	3	8,58	Fin, pas homogène.	Très sec.	»
8	Rouge.	1	8,88	Très fin.	Dur.	Brûlé.
9	id.	1	8,80	Grossier.	Mou.	Bon pour impression.
10	Jaune.	2	8,15	Très fin.	Dur.	Très inégal.
11	id.	3	8,45	Grossier, homogène.	id.	»
12	id.	3	8,5	Fin, pas très homogène.	Très sec.	Beaucoup de soufflures.
13	Rouge.	1	»	»	»	Très bon.
14	id.	1	8,9	Fin.	Dur.	Mauvais.
15	Jaune.	3	8,35	id.	id.	Très bon.
16	id.	3	8,20	id.	id.	Soufflures.
17	id.	2	8,10	Fin, homogène.	id.	Très mauvais.
18	Rouge.	1	8,9	Fin.	id.	Bon.
19	id.	»	»	»	»	»
20	Jaune.	2	8,20	Grossier, pas très homogène.	Mou.	»
21	id.	2	8,15	Fin, homogène.	Dur.	»
22	id.	2	8,22	Moyen.	Mou.	»
23	Rouge.	1	8,85	Fin.	Dur.	»
24	Jaune.	2	»	»	»	»
25	Jaune-grisâtre.	3	»	»	»	Attaqué par les couleurs.

Le tableau suivant donne la composition des alliages dont les propriétés sont rapportées dans le tableau I :

TABLEAU II

	Numéros des échantillons	Cuivre	Etain	Plomb	Zinc	Remarques
Cuivre	3	99,16	0,15	0,12	0,57	
	4	99,16	0,02	0,12	0,58	Un peu d'aluminium.
	8	99,13	0,03	0,19	0,45	Un peu d'aluminium et de soufre.
	9	99,03	0,03	0,12	0,60	Un peu d'aluminium et de soufre.
	1	99,03	»	0,14	0,67	Un peu d'aluminium et de soufre.
	2	99,67	»	0,07	»	Un peu d'aluminium et de soufre.
	14	99,40	»	0,48	»	
	18	99,84	»	»	»	
	23	99,52	»	»	»	
Laiton	6	60,33	0,03	0,68	38,68	Tous contiennent des traces d'arsenic.
	10	61,70	0,08	0,64	37,51	
	20	64,41	0,21	2,86	31,88	
	22	68,60	»	0,39	30,53	
	21	58,25	»	0,43	41,02	
	17	77,68	»	0,42	21,41	
Alliages du laiton	11	74,51	2,80	2,18	19,85	
	12	76,96	2,55	1,88	17,83	
	7	77,63	2,58	1,94	17,16	
	5	74,12	2,37	2,22	20,59	
	15	79,42	4,17	1,23	14,49	
	16	72,15	3,27	1,71	22,16	
	24	70,40	»	0,60	28	
	25	15,00	»	»	84	

Outre le cuivre, on peut employer spécialement les alliages contenant 25 à 30 0/0 de zinc et 70 à 75 0/0 de cuivre pour les rouleaux. Une teneur en plomb, même aussi petite que 0,5 0/0, exerce une mauvaise influence, et les échantillons contenant du plomb ont présenté des soufflures. MM. Dépierre et Spiral pensent que les rouleaux de cuivre contenant 1 à 2 0/0 de phosphore donneraient d'excellents résultats, à tous les points de vue : résistance aux agents chimiques, dureté, finesse de grain, homogénéité, durée. Une addition

de 1 0/0 de phosphore est aussi recommandée pour les variétés de laiton contenant 30 à 35 0/0 de zinc.

§ **190**. — *Alliages dits non oxydables.* — L'*alliage de Lemarquand* contiendrait 75 de cuivre, 14 de nickel, 15 de cobalt, 18 d'étain et 72 de zinc ; les métaux doivent être purs. L'*alliage de Marlie* consiste en 10 de fer, 35 de nickel, 25 de laiton, 20 d'étain et 10 de zinc. Les objets préparés avec cet alliage sont chauffés et plongés dans un mélange de 60 parties d'acide sulfurique, 10 d'acide nitrique, 5 d'acide chlorhydrique et 25 d'eau.

Un alliage employé à la place de l'or et censé inoxydable, a été analysé par l'auteur ; il contient 94,8 de cuivre, 2,8 de zinc, 0,67 de plomb et 1,34 de fer. L'inventeur recommande de plonger les objets dans l'acide nitrique dilué, de les laver et sécher, puis de polir ; il estime qu'ils gardent leur couleur pendant longtemps.

Un nouvel alliage a été préparé par M. Reith de Bockenheim (Allemagne) ; il résisterait pratiquement à l'action de la plupart des solutions acides et alcalines. Il contient : 74,5 de cuivre, 11,6 d'étain, 9 de plomb et 4,9 d'antimoine. Cet alliage est donc un bronze avec addition de plomb et d'antimoine. L'inventeur estime qu'il peut avantageusement remplacer dans les laboratoires les vases d'ébonite, de caoutchouc ou de porcelaine.

§ **191**. — *Amalgames pour argenter les globes de verre.*

Plomb	Étain	Bismuth	Mercure
1	1	1	1
1	1	1	2

Le plomb et l'étain sont fondus d'abord, puis on ajoute le bismuth. On enlève l'écume, et on met le mercure en agitant bien. Des feuilles de métal hollandais sont quelquefois ajoutées suivant la couleur que l'on désire donner aux globes.

§ **192**. — *Alliage de Gersnein.* — Il est destiné à faire un mastic mou pour unir le verre, la terre, etc. Il devient si dur qu'il peut être poli comme l'argent. 25 à 30 parties de cuivre précipité sont broyées avec de l'acide sulfurique dans un mortier de porcelaine, puis on ajoute graduellement 65 à 70 parties de mercure. Lorsque le cuivre est amalgamé, il est bien lavé à l'eau bouillante. Si on désire l'employer comme mastic, on le rend mou et plastique en le chauffant à 375°C. environ et le broyant dans un mortier jusqu'à ce qu'il soit mou. Il est insoluble dans les acides faibles, l'alcool, l'éther, l'eau bouillante. Il a été aussi employé par les dentistes.

§ **193**. — *Sidéraphite.* — Un nouvel alliage, qui ressemble à l'argent, très ductile et malléable, est composé de 63 parties de fer, 23 de nickel, 4 de tungstène, 5 d'aluminium, 5 de cuivre. Le fer et le tungstène sont fondus ensemble, puis granulés ; l'eau dans laquelle est versé le mélange doit contenir 100 gr. de chaux éteinte et 100 gr. de potasse par litre. Le produit formé par la fusion du nickel, du cuivre et de l'aluminium est aussi granulé dans de l'eau contenant la même proportion de chaux et de potasse ; pendant la fusion, les métaux dans les deux creusets doivent être gardés couverts avec un flux de 2 parties de borax et 2 de salpêtre. Un morceau de soude ou d'alcali pesant environ la 1/2500e partie de la masse totale est mis dans le creuset contenant le cuivre, le nickel et l'aluminium, afin de prévenir l'oxydation de ce dernier ; pour prévenir également une semblable oxydation du cuivre, on met un petit morceau de charbon de bois. Pendant la granulation, il est convenable de bien agiter le contenu des deux creusets. Les métaux granulés sont séchés, fondus dans les proportions données ci-dessus, bien agités, puis coulés en barres. Le nouvel alliage, que l'on appelle *sidéraphite*, est dit avoir l'apparence de l'argent ou du pla-

tine, et ne pas être plus cher que le métal blanc ordinaire. Il résiste à l'action de l'acide sulfurique, n'est pas attaqué par les acides organiques, l'est très légèrement par les acides inorganiques.

§ **194.** — *Alliages pour horlogerie.* — L'alliage suivant, convenable pour les douilles des pivots des montres, fut inventé par M. Bennett. Il contient 31 parties d'or, 19 d'argent, 39 de cuivre et 11 de palladium. Cet alliage fond à une température plus basse que l'or ; il est plus dur que le fer martelé. Il a une couleur brun-rougeâtre ; le grain est aussi fin que celui de l'acier ; il se travaille aussi aisément que le laiton ; mais le frottement est beaucoup plus faible que sur les pivots ordinaires. Ce qui lui donne sa principale valeur, c'est que l'huile qu'il absorbe n'est pas décomposée ; elle reste pure, à l'état fluide. Il a encore de plus grands avantages sur les douilles de pierres fines, car il ne se rompt pas facilement ; il est susceptible d'un beau poli et est moins coûteux.

Pour les autres alliages divers, voir p. 353.

APPENDICE

RÉSUMÉ DES RECHERCHES SE RAPPORTANT AUX ALLIAGES FAITES DEPUIS L'ANNÉE 1890.

§ **195**. — Les alliages métalliques occupent dans l'industrie une place très importante ; presque toujours, ils sont employés de préférence aux métaux purs en raison des qualités spéciales qu'ils possèdent. Mais comme le faisait remarquer M. H. Le Chatelier, dans la *Revue générale des Sciences pures et appliquées* (1), « tandis que les progrès faits par la chimie depuis le commencement de ce siècle ont donné à un grand nombre d'industries une impulsion toute nouvelle, l'industrie des alliages a échappé à ce mouvement ; elle continue à progresser lentement par l'emploi de méthodes empiriques peu supérieures à celles qu'employaient nos ancêtres. Chaque progrès est le résultat de tâtonnements en nombre illimité que des notions scientifiques précises permettraient sinon de supprimer complètement, au moins de réduire dans une très large mesure. »

Depuis, des travaux très importants ont été faits sur cette question.

Le problème qui se pose dans l'étude scientifique des alliages aussi bien que dans leur étude industrielle est de rattacher leurs différentes propriétés aux causes immédiates dont elles dépendent, c'est-à-dire de trouver une relation entre la dureté, la malléabilité, la fusibilité, la conductibilité électri-

(1) *Les alliages métalliques*, 30 juin 1895, p. 529.

que des alliages, et certains facteurs élémentaires plus simples et plus généraux. Les deux facteurs élémentaires principaux sont :

1° *La constitution chimique*, c'est-à-dire la nature et la proportion des métaux mêlés, la nature des combinaisons diverses et des mélanges isomorphes qu'ils forment, enfin l'état chimique de ces diverses matières : état cristallin ou amorphe avec leurs différentes variétés allotropiques.

2° La *constitution physique* ou *structure*, c'est-à-dire la forme et la dimension des divers cristaux, des diverses agglomérations élémentaires dont la réunion constitue la masse solide et compacte du métal.

L'importance des travaux sur les alliages provoqués en premier lieu par le *Comité des Mechanical Engineers* n'a pas échappé aux savants et industriels français, et la *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, en juillet 1895, a décidé d'organiser des recherches d'ensemble sur les alliages métalliques. Elle a confié la préparation du programme de ces recherches et le contrôle de leur réalisation à une commission composée de MM. Linder, président ; Cailletet, Carnot, Carpentier, Hirsch, Le Chatelier, Sauvage, Schutzenberger, Vieille et Violle.

Les recherches qu'il a paru utile d'entreprendre portent sur les sujets suivants :

Chimie des alliages. — Détermination et étude des combinaisons définies existant dans les alliages.

Propriétés mécaniques des alliages. — Résistance, dureté, fragilité, malléabilité. Effet de l'écrouissage, de la trempe, du recuit.

Propriétés électriques. — Conductibilité électrique et force électro-motrice de dissolution.

Fusibilité des alliages.

Effets des impuretés sur les métaux et les alliages les plus usuels.

Propriétés magnétiques des alliages du fer (Etude visant spécialement la fabrication des aimants permanents).

Un certain nombre de points de ce programme ont déjà été traités.

Avant d'indiquer les résultats obtenus depuis dix ans dans l'étude scientifique des alliages, j'exposerai les nouvelles méthodes d'investigation qui sont employées pour de semblables études.

Nous devons mentionner aussi l'apparition toute récente d'un nouveau périodique « The Metallographist ». sous la direction de M. Sauveur, dans lequel sont exposés tous les travaux concernant la métallurgie ; M. Sauveur s'est assuré le concours de savants spécialistes : MM. G. Charpy, G. Guillemin, H. M. Horve, H. Le Chatelier, A. Martens, F. Osmond, W. C. Roberts-Austen, J. E. Stead, H. Wedding. Il termine ainsi l'article dans lequel il présente cette revue : « Si elle peut contribuer un peu à l'avancement de la métallurgie en diffusant des connaissances qui sont actuellement la propriété exclusive d'un petit nombre de spécialistes, aidant ainsi la métallurgie à se rapprocher le plus possible d'une science plus exacte d'où l'incertitude des méthodes et des résultats sera graduellement éliminée, l'éditeur sera largement payé de ses efforts. »

§ **196.— Métallographie microscopique.** — Il y a longtemps que l'industrie sidérurgique se sert de l'examen à l'œil sur des cassures des fers ou aciers, comme d'une ressource précieuse pour guider les praticiens soit dans la conduite d'une fabrication, soit dans le classement des produits obtenus. Mais c'est à une époque relativement récente que l'étude microscopique de la structure des métaux et la représentation

de leurs aspects par le dessin ou par la photographie ont acquis l'importance qu'elles possèdent aujourd'hui et sont devenues l'un des modes d'investigation qui préoccupent le plus les métallurgistes.

Les premiers travaux sur ce sujet remontent à 1864 et sont dus à un savant anglais, le Dr Sorby, de Sheffield, qui préférait l'étude des coupes convenablement préparées à celle des cassures, qu'il considérait comme moins propres à renseigner sur la structure du métal. Mais ces remarquables recherches passèrent inaperçues.

En 1878, M. le professeur Martens, de Berlin, étudiait de préférence les lois générales de la rupture, les cassures, les soufflures et les cristallisations des métaux.

En 1880, M. Osmond, ingénieur au Creusot, commençait avec M. Werth des travaux microscopiques sur la *structure cellulaire de l'acier fondu* ; c'était là le début d'une longue série de travaux, qui ont presque uniquement porté sur les fers et les aciers divers (1). M. Osmond s'est placé dans les premiers rangs parmi les fondateurs et les propagateurs de la métallographie microscopique, et il y a acquis une autorité reconnue par tous les métallurgistes des divers pays. Depuis quelques années les études microscopiques sont poursuivies avec ardeur : MM. les professeurs Martens et Wedding à Berlin, M. le Dr Sorby en Angleterre, MM. Lynvood Garrison et Dudley aux États-Unis, M. Behrens aux Pays-Bas, MM. Osmond et Werth ensemble, M. Osmond seul, M. Guillemin en France, et d'autres encore, ont fait tellement progresser l'analyse micrographique des métaux qu'on doit maintenant la considérer comme un moyen d'investigation et de contrôle qu'il n'est plus permis aux industriels de négliger.

(1) *Bull. Soc. Encour.*, mai 1895, p. 489 ; — août 1896, p. 1136 (en commun avec M. Roberts-Austen).

Étant donnée l'importance de la question, tant au point de vue théorique que pratique, nous indiquerons rapidement les procédés expérimentaux employés pour obtenir des échantillons métalliques convenables pour l'examen microscopique.

Si on laisse de côté l'étude des cassures, à laquelle on ne peut appliquer que de faibles grossissements, la première chose sera d'obtenir une coupe plane, et cette coupe plane obtenue, de la polir.

Il est impossible de s'adresser à un polisseur de profession si l'on veut avoir des surfaces *parfaitement* polies. Il faut opérer soi-même, car le polissage est un art dont la théorie n'est pas faite, et le succès dépend de causes nombreuses et de différences souvent très petites en apparence dans la qualité des matières à polir et dans la manière de s'en servir. Chacun a donc son apprentissage à faire.

Polissage. — La surface ayant été dégrossie à la lime, on la passe sur des papiers d'émeri de grosseurs différentes et décroissantes, en ayant soin de croiser les rayures à chaque changement de papier, pour voir si les rayures du papier précédent n'ont pas laissé quelques traces accidentellement plus profondes. Enfin, pour terminer le polissage, on prend un morceau de drap fin que l'on humecte d'eau et que l'on saupoudre de rouge d'Angleterre (oxyde de fer calciné provenant de l'oxalate). On obtient ainsi une surface sensiblement spéculaire, même quand le métal n'est pas homogène ; mais cette surface n'apprend le plus souvent que la présence ou l'absence de scorie, de fentes ou de porosités. Pour arriver à la perfection, il faut polir sur un substratum qui soit assez élastique pour épouser les petites dénivellations au fur et à mesure qu'elles se produisent et assez délicat pour fouiller les plus fins détails. M. Osmond emploie le parchemin que l'on mouille et sur lequel on étend du rouge d'Angleterre ; puis on le porte

sous un robinet à eau, et on lave en brossant de façon à ne garder de rouge que les parties les plus fines, celles qui ont pénétré dans les pores de la peau et s'y sont fixées. Comme le rouge le plus fin est quelquefois encore un peu brutal, il peut être utile de continuer le polissage, toujours sur parchemin mouillé, avec le sulfate de chaux précipité.

Une deuxième opération consiste quelquefois à ajouter à l'action mécanique de la poudre à polir chimiquement inerte celle d'un réactif liquide, inerte par lui-même, mais dont l'activité est exaltée par le frottement. On obtient parfois ainsi des résultats singuliers (eau ammoniacale ; infusion de racine de réglisse connue sous le nom de coco).

La préparation d'un tel échantillon est assurément très fatigante et très longue ; aussi a-t-on quelque peu hésité, dans les débuts, à utiliser cette méthode d'investigation dans l'industrie. Mais, si l'on peut disposer d'un moteur mécanique, on a tout intérêt à s'en servir, et on peut alors obtenir en quelques minutes et sans fatigue une bonne préparation.

M. Le Chatelier recommande le mode opératoire suivant, beaucoup plus rapide, mais un peu moins parfait. Découper la pièce avec des meules d'émeri d'une épaisseur de 3 millimètres ; obtenir une surface plane avec des meules de corindon agglomérées avec du verre fondu ; commencer le polissage avec des feuilles d'émeri de grosseurs différentes et décroissantes collées sur des disques de bois, le tout fixé sur une machine au pied pouvant donner 1500 tours à la minute ; terminer sur des disques de feutre, ou de bois, recouverts de rouge d'Angleterre ou d'alumine calcinée.

Attaque. — Les réactifs utilisables varient suivant les alliages.

Pour les fers et aciers, M. Osmond préconise la teinture d'iode, et accessoirement l'acide nitrique plus ou moins concen-

tré. La teinture d'iode des pharmacies est très convenable; on l'applique à la touche et par additions successives à raison d'une goutte par centimètre carré de surface; on lave à l'alcool. Avec l'acide azotique, on lave à l'eau et à l'alcool. Dans les deux cas, on essuie avec un linge fin et sec. On supprime l'essuyage si l'on doit se servir d'un objectif à immersion.

Pour les laitons contenant moins de 50 0/0 de zinc, M. Charpy indique l'acide sulfurique dilué (1/10 d'acide sulfurique); pour le cuivre rouge, une solution d'ammoniaque qu'on laisse agir pendant deux heures ; pour les alliages tenant plus de 50 0/0 de zinc, une pile à potasse et à oxyde de cuivre ; pour l'aluminium, de la potasse ; pour le plomb, du sulfhydrate d'ammoniaque.

En général toute attaque rapide donne des résultats incertains ; l'attaque électrolytique est lente, facile à régler et à appliquer dans des conditions toujours identiques.

M. H. Le Chatelier emploie le courant de la pile (1). Le problème posé à la métallographie microscopique comprenant deux parties distinctes : 1° la mise en évidence des surfaces de séparation des éléments différents ; 2° la mise en évidence des surfaces de séparation des cristaux de même espèce, M. Le Chatelier a donné les conditions qui lui paraissent les plus favorables pour obtenir une attaque régulière.

Pour répondre à la première partie du problème, il emploie l'action du courant électrique au sein de solutions conductrices sans action sur l'alliage (l'intensité variant de 1/1000 à 1/100 d'ampère par cmq. pendant 1 minute).

L'élément le plus altérable est seul attaqué ; sa surface devient mate, le restant de l'alliage restant poli. Les intensités très faibles sont recommandées et nécessaires pour les

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1896, p. 559.

alliages dont les éléments ne présentent que des différences très faibles d'altérabilité.

Pour mettre en évidence les surfaces de séparation des cristaux de même espèce, il faut une attaque plus énergique. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec un courant d'un ampère par cmq., la solution étant, suivant les cas, du nitrate d'ammoniaque, du chlorure de sodium, ou mieux de l'*hyposulfite de sodium*.

Examen. — Les échantillons ainsi préparés peuvent alors être examinés au microscope.

Primitivement, on employait l'*éclairage oblique*, mais cela nécessite une attaque profonde si l'on veut voir quelque chose, et limite aux faibles grossissements.

Il est plus commode de se servir d'un *éclairage vertical*. On arrive à ce résultat en employant, soit un miroir à 45°, soit un prisme à réflexion totale.

Le miroir se trouve placé entre l'objet et l'objectif,ou entre l'objectif et l'oculaire ; mais comme il y a beaucoup de perte de lumière, il faudra une source lumineuse extrêmement intense ; de plus, l'image se trouve noyée dans un éclairement général.

Le prisme à réflexion totale étant placé sur le côté du microscope, au-dessus de l'objectif, on obtient alors une image très lumineuse.

Le prisme est commandé par un système à crémaillère ; la mise au point est quelquefois très longue. Pour obvier à cet inconvénient, M. Le Chatelier prend un prisme avec deux faces qui ramène le faisceau incident tout près de l'arête ; il suffit alors de régler ce prisme une fois pour toutes. De plus, la face extérieure est concave, de façon à employer des rayons lumineux issus de loin et à obtenir l'image sur l'arête interne du prisme. Comme on ne peut pas éviter la lumière diffuse,

on la réduit au minimum en plaçant un diaphragme devant le prisme.

Tous ces dispositifs supposent que l'échantillon se trouve sous forme de plaquettes ; mais il arrive que ces échantillons ont des formes quelconques. Dans le modèle construit par M. Pellin sur les indications de M. Le Chatelier (1), le microscope est renversé, et l'objet se trouve placé en haut.

Au-dessous de cet appareil, dans l'axe de l'objectif, se trouve une chambre photographique pour obtenir des reproductions. On obtient de petites photographies qu'il faut ensuite amplifier. On peut avoir du premier coup une photographie de grandeur donnée en faisant varier la longueur de la chambre noire (de 0 m. 50 à 1 m. 50) ; un dispositif spécial situé dans le corps du microscope permet alors d'effectuer la mise au point.

L'étude micrographique des métaux, comme toutes les études purement descriptives, exige une certaine éducation de l'œil, qui ne s'habitue pas de suite à voir dans un dessin complexe les particularités intéressantes. Il sera donc toujours très délicat de reproduire exactement par le dessin ce que l'on verra dans le microscope (2). On conçoit donc l'intérêt qu'il y a eu à appliquer la méthode photographique dans de semblables recherches ; et si les reproductions photographiques présentent, lorsqu'on arrive aux forts grossissements, de réelles difficultés que MM. Osmond et Guillemin sont cependant parvenus à vaincre, il n'en est pas de même pour les faibles grossissements.

Pour l'examen micrographique, M. Stead (3) recommande, après avoir poli une surface, de courber l'échantillon par un

(1) *Revue générale des sciences*, 1877, p. 43.
(2) H. Behrens, *Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen.*
(3) *Bull. Soc. Encour.*, 1897, p. 700.

procédé mécanique approprié de façon à produire une certaine déformation de la surface polie. L'examen des fissures qui se produisent alors permet de reconnaître ceux des éléments constitutifs qui sont une cause de faiblesse du métal et de préciser leur mode d'intervention. M. Stead a appliqué cette méthode aux alliages plomb-antimoine, étain-antimoine, étain-phosphore, et spécialement aux alliages étain-arsenic.

MM. Ewing et Rosenhain (1) ont étudié les effets des déformations par l'emploi de la micrométallurgie ; ils ont examiné des surfaces polies de métaux étirés jusqu'à la rupture et photographié les aspects successifs que prenait, pendant cette opération, un groupe de cristaux bien définis (fer recuit et cuivre soumis à la traction d'une machine à essayer de 50 tonnes, à la compression et à la torsion). La plasticité des métaux est due au glissement de leurs cristaux sur les plans de clivage ; chaque grain cristallin se déforme par des glissements successifs dans sa masse, qui se produisent dans au moins trois plans et permettent aux grains de se faire place mutuellement. C'est une action discontinue.

§ **197**. — **Chimie des alliages.** — Wright a étudié les alliages formés par les métaux suivants : plomb, bismuth, zinc, aluminium, étain, argent, cuivre, cadmium, antimoine ; en se limitant à ces neuf métaux, le nombre des combinaisons possibles est très grand (502, dont 36 binaires, 80 tertiaires, 126 quaternaires, etc.) (2).

Les composés binaires et ternaires ont été étudiés au point de vue de la mélangeabilité des métaux constituants. En effet, la séparation spontanée des constituants d'un mélange liquide de différents métaux présente incontestablement une grande

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 893.

(2) *Bull. Soc. Encour.*, mars 1895, p. 300 ; *Journal of the Soc. chem. Ind.*, 1890, p. 344 ; 1892, p. 245, 449, 492, 521 et 693 ; 1894, p. 1014.

importance pratique, parce qu'elle entraîne, quels que soient sa raison d'être et son processus, dans les alliages et les coulées de fonderie, des défauts d'homogénéité très graves, principalement pour les pièces qui doivent être travaillées mécaniquement.

D'après Wright, 31 composés binaires forment des alliages réels ou permanents en toutes proportions, les 5 autres donnent des alliages transitoires entre certaines limites de composition ; — 55 composés tertiaires forment des alliages réels ou permanents en toutes proportions, les 29 autres donnent des alliages transitoires entre certaines limites de composition, que l'on peut figurer géométriquement.

M. Laurie (1) a cherché à déterminer la constitution chimique des alliages en utilisant la mesure de la force électro-motrice qu'ils développent quand ils sont placés dans une solution conductrice, en regard de celui des métaux constituant l'alliage qui est le moins attaquable aux acides.

Si un alliage est constitué par la juxtaposition des cristaux de chacun des deux métaux alliés, la force électro-motrice doit être la même que celle du métal le plus attaquable, autant du moins que la proportion de ce métal dans l'alliage ne sera pas trop faible.

S'il se forme une combinaison définie, cette force électromotrice deviendra égale à celle du métal lorsque la proportion de ce métal dans l'alliage sera supérieure à celle qui correspond à la combinaison définie.

Si les deux métaux donnent des mélanges homogènes de composition variable (dissolution, verres, mélanges isomorphes), la force électro-motrice variera vraisemblablement d'une façon continue avec la composition de l'alliage.

(1) *Journal de la Soc. chim. de Londres,* 1888, p. 88 ; 1889, p. 677 ; 1894, p. 1030.

Cette méthode, très simple en théorie, est d'une application pratique plus délicate (1). Les expériences ont conduit M. Laurie à classer les alliages en trois catégories :

1° Alliages à force électro-motrice indépendante de la composition chimique :

Etain-bismuth.
Plomb-bismuth.
Etain-plomb.
Bismuth-or.
Argent-or.

2° Alliages à force électro-motrice variant d'une façon continue :

Plomb-étain.
Plomb-argent.
Plomb-or.

3° Alliages à force électro-motrice variant d'une façon discontinue :

Zinc-cuivre.
Etain-cuivre.
Etain-or.

La conductibilité électrique peut être aussi invoquée comme moyen d'investigation pour déterminer la constitution chimique des alliages ; aussi cette question a-t-elle été particulièrement étudiée en Angleterre (2). Étant données les trois hypothèses que l'on peut faire sur la constitution chimique des alliages, il doit vraisemblablement correspondre une loi définie de variation de la conductibilité électrique en fonction de la composition de l'alliage.

(1) H. Le Chatelier, *Bull. Soc. Encour.*, février 1896, p. 193.

(2) Calvert, *Philosophical Magazine*, 1858, t. XVI, p. 545 ; Matthiessen, *Trans. of the Royal Soc.*, 1860, vol. CL, p. 151 ; Lodge, *Philosophical Magazine*, 1879, t. VIII, p. 554 ; Roberts-Austen, *Philosophical Magazine*, 1879, t. VIII, p. 567 ; Kamensky, *Philosophical Magazine*, 1885, t. XVII, p. 270.

Dans le premier cas (juxtaposition des cristaux), il semble que la conductibilité électrique de chaque alliage doive être la somme des conductibilités que présenteraient les métaux constituants pris isolément en quantité égale à celle qui entre dans l'alliage, c'est-à-dire que la courbe représentative en fonction de la composition de l'alliage sera une droite qui joint les conductibilités des métaux purs.

Dans le deuxième cas (combinaisons définies), la courbe sera une ligne brisée composée de deux segments réunissant la conductibilité de chacun des métaux purs à leur combinaison définie.

Dans le troisième cas, on aura une courbe continue reliant la conductibilité des deux métaux isolés.

Les expériences de Matthiessen, les plus anciennes en date et les plus importantes, ont montré que la première de ces hypothèses se réalisait dans un certain nombre de cas (alliages deux à deux des métaux suivants : plomb, étain, cadmium, zinc).

Mais dans la plupart des alliages, on observe une allure non prévue *à priori* et non expliquée des courbes : la courbe, en partant de l'un ou de l'autre des métaux purs, s'abaisse avec une rapidité énorme pour des teneurs faibles du métal opposé, même s'il est très conducteur, tels sont les alliages :

Or-argent ; or-étain ; or-cuivre ; argent-plomb.

Enfin il est des cas où les courbes de conductibilité présentent des anomalies qui permettent de conclure, avec une quasi-certitude, à l'existence de combinaisons définies.

Il serait à désirer que de semblables expériences fussent systématiquement reprises, soit en employant les procédés préconisés par Matthiessen (agglomération par la chaleur et la pression des alliages finement pulvérisés en baguettes minces), par Lodge (barres métalliques obtenues par fusion di-

recte), par Roberts-Austen et Kamensky (disques métalliques et balance d'induction de Hughes). La précision de cette dernière méthode comporte cependant certaines critiques, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique (1).

Roberts-Austen a fait une série de recherches sur la *diffusion des métaux* (2). Les essais qu'il a faits prouvent la possibilité de mouvements moléculaires dans les métaux cristallisés à des températures voisines de la température ordinaire et franchement inférieures au point de fusion de l'alliage eutectique possible. Si l'on rapproche ces résultats des changements de structure qui se produisent dans l'or au-dessous de 250°, en présence de deux millièmes d'antimoine ou d'aluminium, et ceux des mouvements de concentration du carbone pendant le refroidissement lent des aciers, on est conduit à appliquer aux solides les lois de la diffusion et de la solution liquides. Ce n'est pas que ces mouvements moléculaires dans les solides soient la règle ; mais il suffit qu'ils puissent se produire pour qu'on soit désormais obligé de compter avec eux et avec les conséquences mécaniques qui peuvent s'ensuivre. C'est là un fait dont il serait prématuré de vouloir mesurer l'importance pratique, mais qui ne saurait manquer d'attirer l'attention des savants et des industriels.

M. Herschkowitsch (3), reprenant la méthode de Laurie, n'a reconnu aucune combinaison dans le cas des alliages cadmium-étain, cadmium-plomb, zinc-étain, zinc-bismuth, cuivre-argent, et une combinaison définie au contraire pour les alliages zinc-cuivre, zinc-argent, zinc-antimoine, étain-cuivre, étain-argent. Il a cherché à contrôler ces résultats par la méthode calorimétrique, mais sans succès, car les chaleurs

(1) H. Le Chatelier, *Bull. Soc. Encour.*, avril 1895, p. 384.
(2) *Bull. Soc. Encour.*, 1897, p. 242.
(3) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 133.

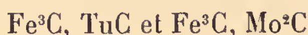
de formation des alliages sont du même ordre de grandeur que les erreurs expérimentales des mesures.

MM. Adolphe Carnot et Goutal, à la suite de recherches sur l'état chimique des divers éléments contenus dans les produits sidérurgiques, ont établi l'existence d'un certain nombre de carbures doubles bien définis (1) ; ce sont :



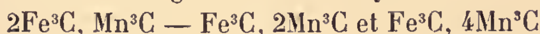
$$3Fe^3C, Cr^3C^2 \text{ et } Fe^3C, 3Cr^3C^2$$

dans les aciers chromés et les ferrochromes,



$$Fe^3C, TuC \text{ et } Fe^3C, Mo^2C$$

dans les aciers au tungstène et au molybdène,



$$2Fe^3C, Mn^3C — Fe^3C, 2Mn^3C \text{ et } Fe^3C, 4Mn^3C$$

dans les ferromanganèses contenant plus de 30 0/0 de manganèse.

M. G. Charpy, dans un mémoire paru dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* (2), donne les résultats auxquels il est arrivé en étendant un grand nombre d'alliages métalliques par les procédés de la métallographie microscopique. Il a été guidé dans ce travail par les études effectuées sur les propriétés physiques des alliages, et notamment sur la forme des *courbes de fusibilité* (voir p. 408).

L'un des points les plus intéressants était la constitution des alliages *eutectiques* ou *à point de fusion minimum.*

Sont-ce des combinaisons chimiques de nature particulière, ou bien des mélanges homogènes, sortes de dissolutions solides comparables aux verres, ou bien de simples mélanges hétérogènes dans lesquels les deux corps sont juxtaposés dans un état de division extrême ? L'étude microscopique des alliages eutectiques des métaux a donné des résultats identiques à ceux que l'étude microscopique des cryohydrates avait fournis à M. Ponsot. Ils se présentent, à

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 133.
(2) Mars 1897, p. 384.

l'état solide, sous forme de simples mélanges de leurs constituants. L'état de division extrême de ces constituants suffit à leur donner des propriétés particulières ; on conçoit en particulier pourquoi, dans un grand nombre de cas, ils présentent une cassure conchoïdale qui conduit, à première vue, à les considérer comme des corps homogènes (alliages étain-bismuth, antimoine-argent).

M. Charpy a étudié ensuite les alliages à courbes de fusibilité normale (étain-bismuth, plomb-antimoine, plomb-étain, zinc-aluminium, cuivre-antimoine, nickel-étain, bismuth-antimoine), puis les alliages à courbes de fusibilité anormales (cuivre-étain, antimoine-étain, antimoine-argent, cuivre-zinc, argent-étain, zinc-argent).

Toutes ces recherches ont conduit l'auteur aux conclusions suivantes :

« L'examen microscopique des métaux, qui permet d'obtenir des indications sur le travail subi par un échantillon donné, fournit aussi des renseignements importants sur la constitution chimique des alliages ; il donne, en quelque sorte, l'analyse immédiate des alliages métalliques ; il permet de constater que la solidification des alliages s'effectue comme celle, plus facile à observer directement, des solutions salines, et que les alliages binaires sont formés, en général, de deux constituants seulement, quel que soit le nombre des composés définis formés par les métaux alliés.

« Le type de constitution normale présente donc des cristaux d'un métal simple ou d'un composé défini, englobés dans un deuxième constituant qui est en général un mélange eutectique, formé lui-même par la juxtaposition de deux éléments très divisés dont l'un est celui qui forme les cristaux. La composition du mélange eutectique reste constante, la proportion des cristaux isolés varie avec la composition centésimale de l'alliage.

« En dehors de ce type normal, dans lequel il faut comprendre les cas limites correspondant à un composé défini pur, ou à un mélange eutectique pur, il n'y a à signaler qu'un second type, celui des métaux qui donnent des mélanges isomorphes. Ces alliages sont alors formés, quelle que soit leur composition, d'une seule espèce de cristaux occupant toute la masse ; en général, la composition et les propriétés varient d'une façon continue dans chaque cristal.

« S'il n'y a qu'un petit nombre de métaux susceptibles de former des mélanges isomorphes, il semble qu'il y ait plusieurs cas de composés définis de deux métaux isomorphes avec l'un d'eux. L'examen microscopique conduit en particulier à prévoir : un composé d'étain et d'antimoine contenant environ 50 0/0 d'étain et isomorphe avec l'antimoine ; — un composé d'antimoine et d'argent contenant environ 20 0/0 d'antimoine et isomorphe avec l'argent ; — un composé d'étain et d'argent, contenant environ 30 0/0 d'étain et isomorphe avec l'argent, etc., etc. Ce ne sont là d'ailleurs que des indications qu'il est nécessaire de contrôler en cherchant à isoler ces composés.

« Les constituants des alliages métalliques se séparent en général à l'état de *cristallites*, et non à l'état de cristaux bien définis. La forme de ces constituants ne donne donc en général qu'une indication approximative ; en dehors de ces caractères, on peut reconnaître les constituants à leur couleur, leur dureté, et surtout à la façon dont ils se comportent vis-à-vis des divers réactifs.

« Le mode de préparation, et particulièrement la plus ou moins grande rapidité de la solidification, modifie considérablement les dimensions des cristallites, mais ne semble pas influer autrement sur la constitution de l'alliage. »

§ 198. — **Fusibilité des alliages** (1). — L'étude de la fusibilité des alliages semble appelée à fournir des renseignements très précis sur la constitution des alliages, en raison des notions déjà très complètes que l'on possède sur la fusibilité des mélanges similaires, mélanges d'eau et de sel en dissolutions ordinaires, mélanges de sels entre eux, mélanges de composés organiques (2). Si l'on étend à la fusibilité les lois certaines de la solubilité, et si l'on généralise ces résultats en les étendant aux alliages, on pourra, de l'inspection des courbes de fusibilité, remonter à la constitution des alliages : reconnaître si, après la solidification, ils sont constitués par la simple juxtaposition de cristaux des deux métaux en présence, ou s'il s'est formé des combinaisons définies, ou encore des mélanges isomorphes.

1° Les deux métaux en présence ne donnent ni combinaisons définies ni mélanges isomorphes.

La courbe de fusibilité est composée de deux branches seulement, comme dans le cas des mélanges de chlorure de sodium et de carbonate de sodium. Des courbes semblables ont été obtenues pour un certain nombre d'alliages (étain-plomb ; étain-zinc ; étain-bismuth).

2° Les deux métaux en présence donnent une ou plusieurs combinaisons définies.

La courbe de fusibilité est formée d'un certain nombre de branches distinctes qui se coupent à angle vif comme dans le cas des dissolutions de sulfate de soude. Ces courbes présentent des maxima qui peuvent être considérés comme les

(1) H. Le Chatelier, Sur les fusibilités des alliages métalliques. *Bull. Soc. Encour.*, mai 1895, p. 569.

H. Gautier, Recherches sur la fusibilité des alliages métalliques. *Bull. Soc. Encour.*, oct. 1896, p. 1293.

(2) H. Le Chatelier, *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 350, 418, 631, 709, 800 ; t. CXX, p. 835, 1050 ; t. CXXIII, p. 593, 746.

indices certains de combinaisons définies ; la réciproque ne serait pas vraie. Des courbes semblables ont été obtenues avec les alliages cuivre-étain, cuivre-antimoine, cuivre-aluminium.

3° Les deux métaux en présence forment des mélanges isomorphes.

La courbe de fusibilité est alors continue et se rapproche plus ou moins de la droite qui joint les points de fusion des deux corps isolés (mélanges de sulfate de potasse et de chromate de potasse ; alliage or-argent).

4° Enfin il doit exister dans les alliages, bien que ceci n'ait pas encore été signalé, un cas plus complexe qui a été observé dans les mélanges de sels. Il peut se faire que les corps mêlés donnent une combinaison définie qui soit isomorphe avec l'un des constituants (expériences de Bakhuis Roozeboom sur le chlorure de fer et le chlorure d'ammonium).

Les propriétés générales des courbes de fusibilité précédentes donnent l'explication du phénomène de la *liquation*. Au moment où la solidification commence, il se dépose (en laissant de côté les mélanges isomorphes), soit un métal pur, soit une combinaison définie ; en général, cette solidification d'un élément déterminé va faire changer la composition de la partie restée liquide, et sa solidification ne pourra continuer à progresser que si la température s'abaisse. Théoriquement, ce phénomène devrait se manifester par une différence absolue de composition d'un point à un autre du lingot solide : l'un ou l'autre des métaux à une extrémité, et à l'autre le mélange à point de fusion minimum, appelé *alliage eutectique*. Pratiquement, les différences de compositions accusées par l'analyse chimique d'un point à un autre d'un lingot sont généralement peu considérables, cela tenant à la cristallisation de lamelles ou aiguilles très fines qui forment un feutrage dans

le liquide et s'appuient les unes sur les autres de façon à rendre leur séparation par densité impossible.

Dans le cas d'alliages donnant des combinaisons définies, il y aura, en général, deux alliages eutectiques à point de fusion minimum et fixe, intermédiaires chacun entre la combinaison définie et l'un des métaux purs (cuivre-antimoine). S'il y a deux combinaisons définies, il y aura trois alliages eutectiques (cuivre-aluminium).

Les alliages isomorphes se solidifient tantôt avec une composition identique à celle de l'alliage fondu, et alors la solidification s'achève à température constante, — tantôt avec une composition différente, et alors la partie fondue revient progressivement à la composition d'un même alliage eutectique à point de fusion minimum.

Les recherches de M. H. Gautier ont porté sur les alliages :

Antimoine-aluminium	Argent-antimoine
Nickel-étain	Argent-zinc
Nickel-cuivre	Argent-cadmium
Argent-aluminium	Argent-étain

Elles sont exposées dans le *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, et il y a joint celles faites par M. Roland-Gosselin sur d'autres alliages :

Etain-antimoine	Bismuth-cuivre
Etain-aluminium	Bismuth-zinc
Etain-plomb	Zinc-aluminium
Etain-zinc	Zinc-cadmium
Etain-bismuth	Cuivre-plomb

Il ressort des résultats auxquels sont arrivés ces savants que les alliages ne ressemblent nullement à des verres, ainsi qu'on l'a quelquefois avancé. Ce sont des corps cristallisés, tantôt formés par la juxtaposition des cristaux des métaux constituants, comme les alliages :

Etain-zinc	Cadmium-zinc
Etain-bismuth	Zinc-aluminium
Etain-plomb	Antimoine-argent
Plomb-antimoine	

Tantôt par la juxtaposition des cristaux de l'un des métaux avec une combinaison définie ; ce serait le cas des alliages :

Etain-cuivre	Etain-nickel
Antimoine-cuivre	Cuivre-nickel
Aluminium-cuivre	Zinc-antimoine
Plomb-cuivre	Aluminium-argent
Bismuth-cuivre	Antimoine-aluminium
Etain-aluminium	

D'autres enfin, beaucoup plus complexes, seraient constitués par des mélanges isomorphes, soit que les métaux considérés soient réellement isomorphes ;

Bismuth-antimoine Argent-or

soit qu'ils forment des combinaisons isomorphes avec l'un d'eux ; tel paraît être le cas des alliages :

Zinc-cuivre	Cadmium-argent
Zinc-argent	Ètain-antimoine
Etain-argent	

Le plus souvent, l'addition d'une petite quantité d'un métal à un autre *plus fusible* abaisse le point de fusion de ce dernier. Parmi les alliages étudiés jusqu'à présent, il n'y a que les exceptions suivantes observées par MM. Heycock et Naville :

Cadmium-argent	Etain-antimoine
Zinc-argent	Bismuth-antimoine

Presque toujours le point de fusion d'un alliage est inférieur à celui du moins fusible des deux métaux composants ; il n'y a d'exception que pour certains alliages d'or et d'aluminium et pour la plupart de ceux d'antimoine et d'aluminium.

La solidification d'un alliage fondu commence toujours à la même température pour une composition déterminée. En laissant de côté le cas des mélanges isomorphes, il se dépose pendant la solidification, soit un métal pur, soit une combinaison définie ; ce dépôt amène une variation de la composition de la partie encore liquide, et la solidification ne peut continuer que si la température s'abaisse à nouveau, et ainsi de suite ; la température ne reste donc pas constante pendant toute la durée de la solidification. De plus, si le corps qui se dépose a une densité notablement différente de celle du liquide restant, il gagne soit le fond, soit la partie supérieure du creuset ; c'est le phénomène de liquation.

La solidification a cependant lieu à température constante dans deux cas : celui où l'alliage a une composition correspondant à une combinaison définie (le dépôt de cette combinaison ne modifie pas alors la composition du liquide restant), et celui où cette composition correspond à un point anguleux de la courbe de fusibilité, c'est-à-dire à un alliage eutectique ; dans ce cas, il se dépose simultanément les deux métaux correspondant aux branches qui se coupent, et la composition du bain liquide reste encore constante.

Quant aux mélanges isomorphes, ils se solidifient tantôt à température constante, tantôt à température progressivement décroissante.

Enfin si la structure cristalline des alliages apparaît le plus souvent sur la cassure, ou bien si elle est facile à mettre en évidence par le polissage suivi d'une attaque par des réactifs appropriés, il n'en est plus de même dans le cas des alliages eutectiques ou des alliages isomorphes. Les cristaux de ces alliages sont d'une ténuité extrême, et ils donnent à la cassure un aspect tout particulier qui la fait ressembler à celle d'une masse vitreuse.

M. Osmond, en poursuivant l'étude des alliages argent-cuivre (1), a constaté que les résultats obtenus par l'analyse micrographique confirmaient ceux indiqués par la fusibilité.

§ 199. — **Dilatation des alliages.** — En 1850 Crace Calvert a étudié les alliages de cuivre et d'étain ; mais ces recherches présentent des difficultés dues à la non-homogénéité des échantillons. De plus, lorsqu'on veut opérer à température élevée, les essais deviennent très difficiles en raison des phénomènes d'oxydation.

A la température ordinaire, on peut employer, soit la méthode de Lavoisier et Laplace qui nécessite des barres métalliques de grandes dimensions, soit la méthode de Fizeau fondée sur les phénomènes d'interférence.

Ce procédé optique permet, en comptant les cercles noirs qui passent en un point donné, ou mieux les taches noires qui paraissent et disparaissent au centre, de mesurer au trois dix-millième de millimètre le déplacement relatif de deux surfaces et d'apprécier le sens du déplacement ; c'est là le point de départ de la méthode de mesure des dilatations.

Soit alors un prisme de la substance à expérimenter, poli à sa base inférieure, fixé dans un support métallique convenable, de façon que la face polie soit sensiblement dans le même plan que le pied du support. Si l'on pose le support sur une lentille convexe, le plan poli du prisme sera sensiblement tangent à la surface de la lentille, et les anneaux de Newton paraîtront. Si l'on chauffe alors l'ensemble du système, le métal du support et la matière du prisme se dilateront, et si leurs coefficients de dilatation ne sont pas les mêmes, il y aura déplacement relatif du plan poli et du plan de base du support qui repose sur la lentille, et mouvement des anneaux.

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1897, p. 702, 836.

Le nombre des anneaux paraissant ou disparaissant permettra de mesurer la différence de dilatation entre le métal et la substance, et si l'on connaît la première, de déduire la seconde. Il suffira donc de compter les anneaux passant en un point pour avoir une mesure de la dilatation.

M. H. Le Chatelier a modifié l'appareil à dilatation de Fizeau et l'a rendu industriel (1).

Le prisme et son support, placés sur une lentille biconvexe et dans les conditions voulues pour pouvoir donner naissance aux anneaux de Newton en lumière monochromatique, sont posés au sommet d'un support cylindrique creux et évidé. La face polie du prisme et la lentille sont éclairées au-dessous par un faisceau de lumière jaune émanant d'un brûleur Bunsen et réfléchi par un prisme à réflexion totale.

Un second prisme à réflexion totale envoie de même le faisceau lumineux portant image virtuelle des anneaux de façon que cette image puisse être examinée avec un microscope à axe horizontal. L'ensemble du système (lentille, support évidé, prismes à réflexion totale) est posé sur un plateau horizontal muni de trois vis calantes au moyen desquelles on peut assurer la verticalité du support, et par suite de l'axe de dilatation du trépied.

Un manchon cylindrique fermé en son sommet et formant une chaudière annulaire est construit de telle façon qu'il puisse coiffer la partie supérieure du support évidé, entourant complètement le prisme et la lentille et descendant bien au-dessous.

Le trépied doit réaliser les conditions suivantes : établir une liaison invariable entre le prisme et le support suivant un plan perpendiculaire à la dilatation qu'on veut mesurer ; —

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1897, p. 199.

laisser aux deux corps composant le prisme et le support une indépendance absolue, suivant l'axe de dilatation ; — permettre de mesurer exactement la hauteur du prisme en expérience, c'est-à-dire la longueur suivant laquelle sera mesurée la différence d'allongement des deux substances. On arrive à ces résultats à l'aide d'un support spécial, et la partie la plus délicate de l'expérience est le placement du prisme dans ce support.

Une autre difficulté de l'expérience est le comptage des anneaux, car cette opération est très fatigante ; on la simplifie en employant un appareil enregistreur Morse dont on a diminué la vitesse.

Pour mesurer les dilatations aux *températures élevées*, plusieurs méthodes ont été indiquées qui ne donnent pas de résultats satisfaisants.

Dans un procédé photographique, on chauffe dans un four une barre sur laquelle sont tracés deux points de repère, ces points pouvant être visés par deux orifices ménagés dans la paroi du four. A l'aide d'un dispositif optique convenable, on s'arrange de manière à avoir une image égale à celle de l'objet.

Dans un autre procédé, on place une tige de longueur donnée entre les extrémités de deux tiges de porcelaine ; les autres extrémités de ces tiges, situées en dehors du foyer, portent un système à bascule muni d'un miroir. On suit le déplacement du miroir ; mais cela suppose que la porcelaine ne se courbe pas sous l'influence de la chaleur, ce qui n'est pas impossible.

Enfin on peut appliquer la méthode qui a été employée pour mesurer les dilatations des pâtes employées dans la céramique.

Peu d'expériences ont été faites sur la dilatation des allia-

ges. M. Le Chatelier a publié récemment les résultats qu'il a obtenus avec les alliages cuivre-antimoine et cuivre-aluminium (1). Pour les alliages cuivre-antimoine, au point de fusion maximum correspond un maximum de dilatation très supérieur à la dilatation du cuivre seul et de la combinaison définie ; l'alliage présentant ce double maximum ne peut donc être qu'une solution solide. Des indications analogues ont été fournies par les études micrographiques et les mesures de résistance électrique : Kamensky a trouvé un maximum de résistance électrique (*Phil. Mag.*, t. XVII, p. 270 ; 1884) et M. Stead une texture homogène pour l'alliage à point de fusion maximum (*Journal of Soc. chem. Ind.*, janv. 1899).

Pour les alliages cuivre-aluminium, la combinaison $AlCu^3$ ne donne lieu à aucune anomalie, ni dans la courbe de fusibilité ni dans celle de la dilatation. La combinaison Al^2Cu présente un point de fusion maximum, correspondant à une proportion de Cu (30 0/0) différente de celle de la combinaison définie (33 0/0). La courbe de dilatation présente entre ces deux teneurs une montée extrêmement rapide qui semble indiquer également dans ce cas l'existence d'une solution solide. Les expériences relatives à la micrographie et à la résistance électrique de ces alliages n'ont pas encore été faites.

§ **200.— Dureté des alliages** (2).— Les propriétés des alliages éprouvent des changements brusques pour certaines compositions déterminées correspondant à des combinaisons définies. Cela est particulièrement net pour les alliages de cuivre et d'étain : l'étude de leur résistance électrique, de leur force électro-motrice de dissolution, de leur densité, de leur fusibilité, de leur dilatation, a mis en évidence l'existence de la combinaison $SnCu^3$.

(1) *Bull. Soc. Encour.*, juin 1899, p. 900.
(2) H. Le Chatelier, *Bull. Soc. Encour.*, 1895, p. 1353.

L'étude de la dureté des alliages conduit à la même conclusion. La dureté est mesurée au moyen d'une pointe de diamant chargée d'un poids fixe de 20 grammes, placée normalement à la surface métallique préalablement polie, puis déplacée doucement de façon à tracer un trait sur le métal. On prend pour mesure de la dureté l'inverse de la largeur du trait exprimée en millimètres.

§ 201. — **Propriétés mécaniques des alliages.** — Par suite de la tendance que l'on a à augmenter la pression de la vapeur dans les machines, il devient de plus en plus nécessaire de connaître l'influence des températures supérieures à la température ambiante sur les propriétés mécaniques des métaux. Beaucoup de travaux, dus à MM. Thurston, Kirkaldy, Adamson, Jœssel, Parker, Unwin, A. Le Chatelier, Roberts-Austen, etc., ont fait considérablement avancer la question ; ils ont été résumés par M. A. Le Chatelier (1).

Les essais effectués par M. Charpy (2) ont porté sur les alliages cuivre-zinc, cuivre-étain, cuivre-aluminium, cuivre-nickel, quelques aciers et des alliages fer-nickel. Les moins bons sont les bronzes d'étain, dont la fragilité augmente rapidement quand la température s'élève ; viennent ensuite les alliages cuivre-zinc à 30 0/0 de zinc dont la ténacité diminue beaucoup à chaud, au point de devenir inférieure à celle du cuivre rouge, et qui sont fragiles à chaud ; les laitons à 40 0/0 de zinc présentent des propriétés plus avantageuses, mais ils restent encore inférieurs aux maillechorts et aux bronzes d'aluminium..

Les aciers ordinaires ne présentent pas à chaud la supériorité qu'ils présentent à froid sur les alliages de cuivre,

(1) A. Le Chatelier, Influence de la température sur les propriétés mécaniques des métaux. *Génie civil*, 1891 ; *Revue générale des sciences*, 1891.

(2) *Bull. Soc. Encour.*, 1890, p. 191.

mais cette supériorité reparaît nettement dans les propriétés des aciers au nickel qui participent à la fois de celle des alliages et de celle des aciers.

§ 202. — **Fers et aciers** (1). — Si l'on admet, ce qui paraît légitime, que le refroidissement brusque immobilise, d'une façon générale, la structure acquise au moment de l'immersion, les résultats qui se dégagent de l'examen micrographique des plaquettes trempées à différentes températures ont conduit M. Osmond à trouver dans un acier chauffé au rouge l'existence simultanée ou non de cinq constituants correspondant à ceux constatés dans le métal refroidi :

1° du fer à peu près pur (ferrite) ;

2° du fer dans lequel le carbone de trempe est réparti d'une façon uniforme (martensite) ;

3° un composé carburé défini (cémentite) ;

4° entre la ferrite et la martensite, une zone de transition (troostite) ;

5° entre la martensite et la cémentite, une autre zone de transition (sorbite).

Mais indépendamment de toute spéculation théorique, les résultats obtenus montrent que la température de chauffage, la température de trempe, la vitesse du refroidissement, c'est-à-dire les principales circonstances du traitement calorifique des aciers, s'inscrivent dans les variations de structure avec une précision que l'inspection des cassures est certainement loin de fournir. Pour tirer un parti industriel de ces données, il faudrait avoir relié les différents aspects de la structure aux propriétés mécaniques correspondantes. L'usage pratique de la métallographie suppose donc, pour chaque métal, une étude préparatoire. Cette étude faite, il sera facile de reconstituer

(1) Osmond, *Bull. Soc. Encour.*, mai 1895, p. 480.

avec une assez grande exactitude le traitement calorifique subi par une pièce finie, de voir si ce traitement, dont l'importance est capitale, a été conforme ou non aux règles posées, de le rectifier s'il y a lieu, et de faire la part des responsabilités dans les rebuts. Un excellent et très concluant exemple a été donné dans ce sens par M. A. Sauveur (*Trans. Amer. Soc. of Min. Eng.*, t. XXII, p. 546), qui a organisé, dans les usines de l'*Illinois Steel Cie*, un service régulier d'essais micrographiques.

Les conclusions précédentes données par M. Osmond sont appuyées par de nombreux clichés microphotographiques obtenus aux grossissements de 20 à 800 diamètres, qui montrent l'aspect des différents aciers à leurs différents états.

M. Sauveur (1) a étudié les changements de microstructure qui se produisent pendant un refroidissement lent, dans des aciers contenant des quantités variables de charbon, et le rôle des changements ayant lieu aux *points critiques* (2) dans les théories courantes de la trempe.

Les aciers, si on les refroidit ou si on les échauffe, présentent un ou plusieurs points critiques (l'acier très doux en ayant trois, l'acier doux ou demi-dur deux et l'acier dur un seul). Si un acier est *trempé* au-dessus du point critique, la trempe est proportionnelle à la quantité de carbone ; au-dessous de ce point, il n'est pas sensiblement trempé. Si un acier trempé est dissous dans les acides dilués froids, la plus grande portion du carbone disparaît à l'état d'hydrocarbures ; avec un acier non trempé, presque tout le carbone est retrouvé à l'état de Fe^3C. Chaque point critique est accompagné d'une modification de structure ; dans l'intervalle de température où il n'y

(1) *The Metallographist*, janvier 1898, p. 27 ; juillet 1898, p. 210.

(2) Les points critiques sont les points particuliers auxquels se produisent les modifications allotropiques du fer (phénomènes de récalescence).

a pas de point critique, il n'y a aucun changement au point de vue micrographique.

L'acier au manganèse contenant environ 12 0/0 de manganèse ne montre aucun phénomène de récalescence ; il est dur et non magnétique.

Dans un autre ordre d'idées, M. Sauveur, s'inspirant des récents travaux relatifs à la nature des alliages métalliques, a cherché à déterminer la constitution de l'acier considéré comme un alliage de fer et de carbone.

On ne connaît actuellement qu'un seul carbure de fer défini, Fe^3C ou *cémentite*. Ce composé donne lieu avec le fer (*ferrite*) à des mélanges soit hétérogènes, la *perlite*, soit homogènes, la *hardenite* et la *martensite*, qui se distinguent par des propriétés individuelles assez tranchées (1).

La *perlite*, caractérisée par un éclat nacré spécial, est l'alliage eutectique de ferrite et de cémentite ; sa composition reste constante, quelle que soit la composition de l'acier ; elle contient toujours environ 0, 8 0/0 de carbone. Examinée au microscope, elle se résout en un assemblage de fines lamelles inégalement dures et inégalement attaquables aux réactifs chimiques. L'acier trempé ne laisse plus voir de perlite, mais une matière homogène, que M. Howe a appelée *hardenite*. Si la trempe est faite exactement au-dessus du point de récalescence, la proportion de hardenite est exactement égale à celle de perlite qu'aurait donnée le refroidissement lent. MM. Osmond et Sauveur ont montré que, si l'on trempait l'acier à des températures de plus en plus élevées au-dessus du point de récalescence, la ferrite ou la cémentite libre allait progressivement en diminuant et finissait même par disparaître totalement à une température suffisamment élevée ; le carbure de trempe n'a donc pas une composition déterminée : il se com-

(1) H. Le Chatelier, L'état actuel des théories de la trempe de l'acier. *Rev. gén. des sciences*, 1897, p. 11.

porte comme une dissolution qui se saturerait de quantités croissantes de ses constituants au fur et à mesure que la température s'élève. Aussi M. Osmond considère-t-il le carbure de trempe comme une dissolution de composition essentiellement variable, à laquelle il a donné le nom de *martensite*.

La martensite est donc une solution solide de ferrite et de cémentite qui, par refroidissement, arrive toujours à la même composition limite, celle de la hardenite, qui est le mélange eutectique de la martensite. La cristallisation de la hardenite donne la perlite, formée de la juxtaposition des cristaux très fins de ses deux constituants, ferrite et cémentite ; cette cristallisation, comme dans le cas des dissolutions solides, est accompagnée d'un grand dégagement de chaleur qui donne lieu au phénomène de récalescence.

Nous savons que pour certaines quantités de carbone, cette teneur variant entre des limites fixes, on observe une très grande différence entre les propriétés de l'acier, suivant qu'il est refroidi rapidement ou lentement. Dans le premier cas, on a un métal très dur, et l'augmentation de la dureté est certainement due à la présence de la martensite. Mais ceci ne permet pas de résoudre encore complètement le problème de la trempe qui a été l'objet de tant de recherches et de controverses, car il reste à déterminer la cause de la dureté de la martensite. Or la martensite est une solution solide homogène de carbone ou de cémentite dans le fer ; on doit en effet abandonner l'idée que c'est un composé défini Fe^2C, car il est évident que sa composition, comme celle de la portion restant liquide pendant le refroidissement d'un alliage métallique, varie avec la température.

Si l'acier non trempé est généralement composé de deux ou trois constituants (ferrite, cémentite et perlite), on peut facilement concevoir que, même s'il n'y a aucune impureté, les

propriétés physiques de l'acier, qui donnent à ce métal une place si importante dans les arts, ne dépendent pas exclusivement des proportions relatives de ces constituants, en d'autres termes, de la quantité de carbone ; mais qu'elles dépendent aussi de la distribution, du mode de formation, des dimensions des grains individuels ou particules cristallines, le tout étant régularisé par le traitement, calorifique et physique, auquel est soumis le métal. La structure de l'acier est extrêmement sensible aux faibles changements de traitement, et une modification de la structure, même faible, implique toujours une modification correspondante des propriétés physiques. C'est pourquoi le microscope devient un instrument indispensable, puisqu'il permet d'étudier les changements de structure d'un métal, ces modifications étant étroitement reliées aux propriétés de ce métal.

M. Osmond a montré que le fer et l'acier sont composés de *grains* juxtaposés et soudés entre eux, n'affectant aucune forme cristalline définie ; M. Stead a précisé les conditions de température qui développent le grain (1). Dans le fer pur, le commencement de formation du grain et l'accroissement continu de sa grosseur avec la durée du chauffage se produisent entre 500° et 870°, avec un maximum entre 600° et 700°, c'est-à-dire au-dessous des points de transformation du fer. C'est un point important à noter, car dans les aciers, il ne se produit aucun changement au-dessous du point de récalescence.

L'acier à 0,21 0/0 de carbone est particulièrement intéressant ; il est composé de régions distinctes de ferrite et de perlite : le grain de ferrite n'augmente qu'entre 630°-700°, celui de perlite au-dessus de 700° seulement, et d'autant plus que la température est plus élevée.

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 127.

M. Osmond a étudié l'effet des basses températures sur certains aciers (1). Quand on ajoute au fer, en proportion croissant progressivement, du nickel, du manganèse ou du carbone, séparément ou ensemble, les points de transformation du fer sont progressivement abaissés pendant le refroidissement lent ou rapide par le nickel ou le manganèse, pendant le refroidissement rapide seulement (trempe) par le carbone. Quand la proportion des corps ajoutés est convenable, on obtient des aciers qui ne sont pas transformés du tout ; le fer y garde, à la température ordinaire, la même forme moléculaire, non magnétique, qu'il possède au-dessus de 860° ; mais les transformations restent possibles, du moins partiellement, à une température plus basse, avec apparition du magnétisme, diminution de densité et augmentation de dureté. Si l'on élève plus encore la proportion des corps mentionnés, il arrive un moment où l'acier n'est plus transformable, même dans l'air liquide ; à ce type appartiennent l'acier manganèse à 13 0/0 de M. Hadfield, certains aciers chromés étudiés par M. Guillaume, etc.

L'abaissement des points de transformation allotropique du fer apparaît comparable à l'abaissement des points de solidification des dissolvants par les corps dissous.

§ 203. — **Propriétés magnétiques des alliages du fer.** — La condition suffisante et nécessaire pour qu'un acier fondu puisse fournir un aimant permanent utilisable est que les points de transformation en soient amenés ou placés au-dessous de 350° environ et au-dessus de la température la plus basse à laquelle le métal sera soumis.

Cette condition peut être réalisée de deux manières : 1° par la trempe pour les aciers à base de carbone ; 2° par l'addition

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 902.

de certains corps étrangers en proportions convenables (manganèse, chrome, nickel, tungstène).

Mme Sklodowska Curie a étudié les propriétés magnétiques des aciers trempés de composition connue, en se plaçant surtout au point de vue de la *construction des aimants permanents* (1). L'étude a été généralement faite sur des barreaux ayant 20 centimètres de longueur et une section de 1 centimètre. Quelques aciers, sous forme d'anneaux, réalisaient des circuits magnétiques fermés.

Les barreaux étaient chauffés dans un four électrique à spirale de platine et trempés à l'eau. Le courant de chauffe aimantait le barreau dont on suivait l'état d'aimantation au moyen d'une aiguille aimantée montée sur un pivot. Le barreau ne prend la trempe que si le four a été porté à une température supérieure à celle de la transformation magnétique, c'est-à-dire lorsque l'acier est à l'état faiblement magnétique au moment de la trempe.

Les qualités magnétiques d'un acier à aimants sont caractérisées par l'*intensité d'aimantation rémanente à circuit magnétique fermé* et le *champ coercitif*. Le champ coercitif est le champ démagnétisant extérieur uniforme dans lequel il faut placer l'acier aimanté à saturation pour que l'intensité d'aimantation devienne nulle. De la grandeur de ce champ, dépend la stabilité du magnétisme et la possibilité d'aimanter des barreaux peu allongés.

Mme Curie a étudié une série d'aciers à pourcentage croissant de carbone ; ceux à 0,8 0/0 seraient les meilleurs pour la construction des aimants. Elle a également porté son attention sur des aciers spéciaux qui ont montré que l'existence, dans l'acier, de divers métaux ne modifie pas, en gé-

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1898, p. 36.

néral, beaucoup l'intensité d'aimantation rémanente à circuit fermé, mais que souvent elle augmente le champ coercitif, et que c'est l'augmentation du champ coercitif qui rend certains aciers propres à faire de bons aimants permanents. La présence d'un peu de silicium, de bore, de manganèse, ne semble pas, à ce point de vue, exercer une influence notable ; le nickel, le chrome, le cuivre en petites proportions améliorent au contraire les propriétés magnétiques des aciers ; mais ce sont les aciers au tungstène et au molybdène qui fournissent les meilleurs aciers à aimants.

Le champ coercitif peut dépasser 60 pour les aciers au carbone ; il atteint 70 à 74 pour ceux au tungstène (acier d'Allevard), et 80 à 85 pour ceux au molybdène.

Mme Curie a étudié enfin les conditions de stabilité du magnétisme rémanent des barreaux aimantés, l'influence des chocs, des variations de température et des actions magnétiques extérieures sur les aimants. Les secousses produisent d'autant moins d'effet que le champ coercitif est plus fort ; un recuit à 200° altère considérablement les bons aciers à aimants ; un recuit de 100° est déjà nuisible. Pour construire les aimants permanents, il convient de les recuire vers 60° seulement, en ayant soin de les désaimanter ensuite partiellement après les avoir aimantés à saturation.

Les aciers du 2e groupe ont été moins étudiés ; ils sont représentés dans le mémoire de Mme Curie par le type à 7,7 de tungstène ; mais ce groupe comprend aussi les aciers à 10-25 0/0 de nickel, 3,5-7,5 de manganèse et 5-15 de chrome. M. Osmond a fait tout récemment des recherches dans ce sens (1).

Les aciers au nickel et l'acier à 4 0/0 de manganèse pré-

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 904.

sentent un minimum de magnétisme rémanent qui coïncide pratiquement avec le minimum de ténacité. Pour un de ces métaux, la formule de préparation sera la suivante : 1° *faire revenir,* après forgeage, un peu au-dessous des points de transformation ; 2° ajuster ; 3° recuire juste au-dessus des points de transformation pour obtenir le maximum d'intensité magnétique ; 4° *faire revenir* vers 100° pour rendre l'aimantation plus stable.

L'acier à 5,67 de manganèse présente cette particularité que le minimum d'intensité magnétique est peu marqué ; à l'état doux, cet acier donne encore des aimants passables.

L'acier à 7,80 de manganèse, refroidi deux fois dans l'air liquide et *revenu* au rouge très sombre après chaque refroidissement fournit des aimants remarquables ; mais on ne peut l'adoucir notablement.

L'intérêt de ces aciers *quasi-trempés* pour les aimants tient à cette double circonstance que la trempe est évitée et que les propriétés magnétiques sont constantes dans toute la masse.

§ **204.** — **Alliages de fer et de nickel** (1). — Le coefficient de dilatation diminue lorsque la teneur en nickel croît de 0 à 16 0/0 ; l'alliage à 98 0/0 de nickel se dilate plus que le fer pur.

La résistance générale, ainsi que les efforts correspondant à la limite d'élasticité proportionnelle, à la limite apparente d'élasticité et à la rupture croissent avec la teneur en nickel jusqu'à 10 0/0, d'une manière à peu près proportionnelle ; mais de 10 à 30 0/0 de nickel, on constate au contraire une diminution notable et croissante de la résistance générale pour de plus fortes teneurs en nickel ; tandis que les efforts

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1897, p. 269.

aux limites d'élasticité décroissent encore, l'effort de rupture passe à 30 0/0 de nickel par un minimum, puis remonte jusqu'à environ 60 0/0 de nickel, pour diminuer ensuite lentement.

L'allongement de rupture diminue d'abord, puis augmente et passe par un maximum ; il décroît ensuite jusqu'à 16 0/0 de nickel (il devient presque nul), atteint à 60 0/0 un maximum absolu, et décroît ensuite constamment.

Il y a une grande analogie entre les résultats des essais à la compression et ceux des essais à la traction.

Pour les chocs comme pour les compressions, les écrasements diminuent lorsque la teneur en nickel croît de 0 à 16 0/0 ; à 30 0/0, ils reviennent à peu près aux valeurs observées pour le fer pur, diminuent peu à peu ensuite jusqu'à 60 0/0, puis se relèvent ; pour 60 0/0, ces écrasements atteignent encore des valeurs voisines de celles correspondant au fer pur.

La teneur en nickel a sur la résistance au cisaillement à peu près la même influence que sur la résistance à la compression, mais elle est plus faible.

Certains *aciers au nickel* possèdent des qualités mécaniques précieuses dans la construction des machines ; d'autre part, ils présentent une série de singulières anomalies, intéressantes au point de vue théorique, qui ont été spécialement étudiées par M. Ch. Ed. Guillaume (1).

Le fer et le nickel sont les plus magnétiques des métaux à la température ordinaire ; leur mélange devrait donc être magnétique dans les mêmes conditions. Le fait connu, depuis plus de dix ans, que certains alliages dans lesquels ces métaux entrent pour plus de 99 0/0 sont complètement dépourvus de

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1898, p. 260.

magnétisme, est un indice à peu près certain que les éléments ne sont pas simplement mélangés dans la masse, mais qu'il existe des combinaisons spéciales de fer et de nickel auxquelles la loi des mélanges ne devra s'appliquer pour aucune de leurs propriétés.

Au point de vue des propriétés magnétiques, les aciers contenant de 0 à 25 0/0 de nickel environ, et qui semblent compris assez exactement entre les formules Fe et Fe^3Ni, sont *irréversibles* en ce sens qu'à une même température, ils peuvent exister à deux états essentiellement différents suivant le cycle des températures antérieures ; ils décrivent, entre certaines limites de température, même pour de très faibles écarts, des chemins entièrement différents à température ascendante et descendante. Les aciers d'une teneur supérieure à 25 0/0 sont *réversibles* et possèdent à chaque température des propriétés magnétiques qui, *en première approximation*, ne dépendent que de la température actuelle.

M. Dumont (1) a déterminé la perméabilité magnétique, en valeur absolue, pour douze alliages, les champs étant compris entre 14 et 50 unités C.G.S. et les températures entre 78° et 250°. La teneur en nickel variait de 26, 2 à 44 0/0. A toute température, la perméabilité pour les alliages contenant de 27 à 44 0/0 de nickel augmente avec la teneur en nickel. M. Osmond a étudié les alliages contenant plus de 50 0/0 de nickel (2).

Les changements de volume qu'éprouvent les aciers au nickel sont de deux espèces bien distinctes. Les alliages irréversibles éprouvent aussi, entre certaines limites, des changements d'une nature absolument différente à température ascendante et à température descendante. Les alliages de la

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1898, p. 334.
(2) *Bull. Soc. Encour.*, 1899, p. 315.

deuxième catégorie se dilatent ou se contractent en suivant toujours sensiblement le même chemin, mais d'après des lois bien différentes de celles qui régissent les dilatations des autres métaux ou alliages.

Les valeurs du module d'élasticité, bien que variant dans une moindre mesure que les dilatations, présentent une allure générale assez semblable dans ses anomalies pour que l'on puisse reporter sur cette dernière propriété ce qui est dit des variations de volume.

Tous les aciers au nickel étudiés par M. Guillaume éprouvent, sous l'action du temps, des variations de longueur qu'une élévation de température accentue et dont les lois, très complexes, auraient peut-être dérouté pendant longtemps les recherches si elles ne présentaient, au moins pour une catégorie d'entre eux, des analogies frappantes avec les variations de volume du verre, bien connues aujourd'hui dans leurs traits généraux à cause de leur importance pour la thermométrie.

La plupart de ces aciers sont peu oxydables, très tenaces, remarquablement homogènes, susceptibles d'un beau poli. Ceux de la 2e catégorie sont malléables pour le laminage, l'étirage en barres et en fils pouvant avoir moins d'un dixième de millimètre. Leurs anomalies de dilatation et leurs variations magnétiques les rendent propres à de nombreux usages (frettage à froid, pendules compensés ; coupe-circuits).

§ **205. — Alliages de cuivre et de zinc.** — M. Charpy, dans une étude très longue sur ces alliages (1), s'est proposé de rechercher : d'une part, la relation entre la composition chimique et les propriétés mécaniques, d'autre part, la variation des qualités du métal avec la structure.

La méthode employée a été la suivante : préparer, d'après

(1) *Bull. Soc. Encour.*, février 1896, p. 180.

la marche adoptée pour la fabrication industrielle du laiton en planches de qualité supérieure, des alliages de cuivre et de zinc de compositions régulièrement variées ;— amener ces alliages par des martelages et des laminages successifs à froid, sans aucun recuit, à un état d'écrouissage aussi accentué que possible ; — prélever alors des éprouvettes et les recuire à des températures graduellement croissantes jusqu'au point de fusion, et déterminer les propriétés mécaniques et la structure micrographique correspondante.

Relation entre la composition chimique et les propriétés mécaniques. — Si l'on compare les alliages de cuivre et de zinc amenés à l'état de recuit complet, et qu'on cherche l'influence de la composition chimique sur les propriétés mécaniques, on trouve que ces propriétés varient toutes d'une façon continue avec la teneur en zinc ; si l'on se borne à considérer les métaux contenant de 0 à 50 0/0 de zinc, les seuls susceptibles d'utilisation pratique, les propriétés mécaniques peuvent se partager en quatre groupes correspondant à quatre modes de variation.

La limite élastique à la traction, la résistance à la pénétration, la raideur augmentent d'une façon continue avec la teneur en zinc. La variation est beaucoup plus rapide quand la proportion de zinc varie de 35 à 40 0/0. A ce groupe de propriétés, il faut joindre aussi la vitesse d'écrouissage.

L'allongement total à la traction, l'allongement proportionnel et l'allongement de striction croissent avec la teneur en zinc, passent par un maximum pour l'alliage à 30 0/0 et décroissent ensuite rapidement.

La résistance à la compression et la striction décroissent quand la teneur en zinc augmente, passent par un minimum pour l'alliage à 30 0/0 et croissent ensuite ; la fragilité, qui ne devient sensible que lorsque la teneur en zinc atteint 45 0/0, varie alors comme la striction.

Dans les applications pratiques, il sera bon de ne pas dépasser une proportion de 43 0/0 de zinc, à cause de l'apparition de la fragilité ; d'autre part, il n'y a aucun intérêt à employer des alliages contenant moins de 30 0/0 de zinc, qui deviennent plus coûteux, et dans lesquels on a, à la fin, moins de résistance et moins de malléabilité. En faisant varier la proportion de zinc entre 30 et 43 0/0, on aura toute une série de métaux de nuances différentes, le plus malléable ayant jusqu'à 60 0/0 d'allongement avec une résistance à la rupture de 27 à 28 kilogrammes, le plus tenace ayant encore 40 0/0 d'allongement avec une résistance de 37 à 38 kilogrammes, en ne considérant que l'état de recuit complet ; avec un emploi judicieux de l'écrouissage et du recuit, on pourra augmenter la résistance jusqu'à 60 kilogrammes environ pour des barres et des tôles, et beaucoup plus loin pour des fils.

Variation des qualités du métal avec la structure. — L'étude de la structure des alliages peut donner quelques indications sur leur constitution ; mais il faut conclure avec une très grande prudence. La structure n'est pas révélée par l'aspect de la cassure, qui n'indique que les surfaces de faiblesse. Elle est beaucoup mieux mise en évidence par l'aspect de la surface des barreaux soumis à la déformation.

L'étude de la structure microscopique appliquée par M. Charpy aux alliages de cuivre et de zinc lui a permis de les classer en trois catégories correspondant à des propriétés mécaniques assez bien définies ; la première correspond aux *alliages très malléables à froid*, la deuxième aux *alliages à grande résistance*, moins malléables que les précédents, mais forgeables à chaud ; la troisième comprend des alliages très variables dont le caractère commun est la *fragilité*, ce qui suffit à les faire rejeter pour les applications. De plus, l'étude de la structure permet de déterminer, approximativement, le

travail subi par le métal, surtout dans les alliages de la première catégorie.

On pourra déterminer si le métal a été coulé, et d'après les dimensions du grain, savoir à peu près dans quelles conditions (haute ou basse température, moulage en coquille ou en sable), s'il a été écroui, s'il a été recuit à une température plus ou moins élevée, enfin s'il a été brûlé.

En résumé, l'étude de la structure paraît susceptible d'applications utiles, non pour remplacer l'analyse chimique, mais pour compléter cette opération par des données que la chimie seule est impuissante à fournir.

§ **206**. — **Alliages pour coussinets.** — La quantité de métal dépensé pour la fabrication des coussinets est énorme. M. Duddley (1) a fait une étude comparative des divers métaux employés aux États-Unis ; il en ressort que l'alliage

Cuivre.	74
Étain	8
Plomb.	15

semble devoir être considéré comme le meilleur ; l'expérience a montré que l'introduction des six ou huit autres corps simples employés quelquefois dans les alliages n'a pas une grande influence sur la supériorité de l'alliage pour coussinets.

§ **207**. — **Alliages antifriction.** — Les recherches de M. Charpy (2) ont eu pour but d'appliquer aux alliages pour pièces frottantes ou *antifriction* les idées théoriques qui se déduisent des expériences sur la fusibilité et les autres propriétés des alliages, ainsi que de leur étude microscopique.

Les alliages employés comme antifriction présentent le même caractère général ; ils sont formés par des grains durs englobés dans un alliage plastique. Cette constitution, qui se

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1892, p. 804.
(2) *Bull. Soc. Encour.*, juin 1898, p. 670.

rencontre dans presque tous les alliages auxquels on est arrivé empiriquement à donner la préférence, répond aux deux conditions que l'on peut chercher à réaliser dans les alliages pour coussinets ; la portée se fait sur les grains durs, qui ont un coefficient peu élevé et sur lesquels le glissement ne peut se produire que très difficilement ; la plasticité du ciment permet au coussinet de se mouler sur l'arbre et évite ainsi les surpressions locales qui sont la principale cause d'accidents.

Cette constitution peut se réaliser par des mélanges binaires, les grains durs étant constitués soit par un métal simple comme l'antimoine, soit par un composé défini, comme l'antimoniure d'étain, de cuivre ou le stannure de cuivre. Il sera préférable, en général, de recourir à des mélanges ternaires dans lesquels, grâce à la composition complexe du ciment, il sera plus facile de trouver une composition qui corresponde aux qualités acquises. L'étude de la constitution des alliages ternaires faite par M. Charpy sur les alliages bismuth-antimoine-étain donne pour cette recherche de précieuses indications. Elle permet de se rendre compte, par un petit nombre d'essais, des limites entre lesquelles on peut faire varier la composition pour avoir des alliages utilisables.

Les essais à faire sont principalement des essais micrographiques pour vérifier que l'alliage présente bien la composition qui a été indiquée plus haut, et des essais de compression pour s'assurer que l'alliage n'est ni trop dur, ni trop mou, qu'il s'écrase régulièrement et ne se brise pas en fragments sous l'influence de la pression.

Ces considérations permettent un premier classement des alliages utilisables ; celles qui interviennent ensuite sont relatives principalement au prix de revient, aux facilités de tra-

vail et d'emploi, et échappent par conséquent aux recherches de laboratoire.

Après avoir indiqué les principes de l'étude des alliages pour coussinets, M. Charpy a étudié les groupes ternaires suivants :

Cuivre-étain-antimoine
Plomb-étain-antimoine
Cuivre-plomb-antimoine
Zinc-étain-antimoine
Cuivre-étain-plomb

et a indiqué, dans chaque cas, les principales combinaisons utilisables à 3-4 0/0 près. Toute précision plus grande paraît actuellement illusoire ; on a ainsi d'ailleurs un choix suffisant, et il semble inutile de recourir aux formules plus compliquées qui ont été parfois proposées, qui comportent l'emploi de quatre, et même cinq métaux différents, et dont la fixation paraît avoir été complètement arbitraire.

§ 208. — **Alliages industriels d'aluminium** (1). — Si le bronze contient plus de 11 0/0 d'aluminium, il est trop cassant pour l'industrie ; s'il renferme plus de 20 0/0, il prend un aspect jaunâtre, il devient cassant et pulvérisable au mortier; à 30 0/0, il est moins dur ; à 50 0/0, il devient tout à fait doux ; si la teneur en aluminium atteint 60-70 0/0, il devient dur et présente une belle structure cristalline.

Les expériences de Tetmayer, de Zurich, montrent que la résistance à la traction augmente avec la proportion d'aluminium, d'abord lentement, puis de plus en plus vite.

(1) *Bull. Soc. Encour.*, 1891, p. 595.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE DE L'APPENDICE

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

Années	Pages	
1890	169	Fabrication des alliages d'aluminium d'après les procédés de Cowles, par *Ivanov*.
1891	511	Expériences sur le frai des monnaies, par *Maurice Péligot.*
	595	Les alliages industriels d'aluminium.
1892	506	Microstructure du fer et de l'acier, par *A. Martens.*
	804	Alliages pour coussinets, par *C.-B. Duddley.*
1893	644	Alliages, par *Roberts-Austen.*
1894	860	Analyse micrographique des aciers, par *Osmond.*
1895	191	Acier au bore, par *Moissan et Charpy*.
	192	Constitution des alliages d'après les mesures des forces électro-motrices, d'après *Laurie*, par *H. Le Chatelier.*
	300	Composition et constitution des alliages, d'après *Wright.*
	384	Constitution des alliages d'après la conductibilité électrique, par *H. Le Chatelier.*
	388	Combinaisons définies des alliages, par *H. Le Chatelier.*
	480	Méthode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone, par *Osmond.*
	569	Fusibilité des alliages, par *H. Le Chatelier.*
	660	La trempe de l'acier, par *G. Charpy.*
	1122	L'acier au nickel, par *Wiggin.*
	1353	Dureté des alliages, par *H. Le Chatelier.*
	1357	Analyse de l'aluminium et de ses alliages, par *Moissan.*
1896	133	Les alliages d'argent.
	180	Les alliages de cuivre et de zinc, par *G. Charpy.*
	242	Le métal Bulls.
	559	Métallographie microscopique, par *H. Le Chatelier.*
	1136	Structure des métaux, sa genèse et sa transformation, par *Roberts-Austen et Osmond.*
	1293	Fusibilité des alliages métalliques, par *Gautier.*
1897	242	Diffusion des métaux, par *Roberts-Austen.*
	269	Propriétés des alliages de fer et de nickel (*Soc. d'Encour. pour l'industrie de Berlin*).

Années	Pages	
1897	384	Etude microscopique des alliages, par *G. Charpy*.
	523	Analyse du 4e rapport du Comité des alliages de l'*Institution of mechanical Engineers* de Londres, d'après *Roberts-Austen*.
	700	Etude micrographique des alliages, de *Stead*.
	702,836	Les alliages argent-cuivre, par *Osmond*.
1898	36	Propriétés magnétiques des aciers, par *Mme Curie*.
	260	Les aciers au nickel, par *Ch.-Ed. Guillaume*.
	334	Les propriétés magnétiques des aciers au nickel, par *Dumont*.
	670	Etude sur les alliages anti-friction, par *G. Charpy*.
1899	127	Structure du fer et de l'acier, d'après *M. Stead*.
	133	Etude sur la constitution des alliages métalliques, par *Herschkowitsch*.
	133	Recherches sur l'état chimique des divers éléments contenus dans les produits sidérurgiques (carbures doubles de fer et d'autres métaux), par *A. Carnot et Goutal*.
	191	Influence de la température sur les propriétés des alliages métalliques, par *G. Charpy*.
	315	Les alliages de fer et de nickel, par *Osmond*.
	458	Analyse du 5e rapport du Comité des alliages de l'*Institution of mechanical Engineers* de Londres, d'après *Roberts-Austen*.
	893	Micrométallurgie, par *Ewing et Rosenhain*.
	900	Dilatation des alliages métalliques, par *H. Le Chatelier*.
	902	Effets des basses températures sur les alliages, par *Osmond*.
	904	Les aciers à aimants, par *Osmond*.

Journal of the Franklin Institute.

Juin 1899, p. 447. — La microstructure des bronzes, par *Heyn*.

The Metallographist.

Janvier 1898, p. 27. — La microstructure de l'acier et les théories courantes de la trempe, par *A. Sauveur*.

Juillet 1898, p. 210. — La constitution de l'acier considéré comme un alliage de fer et de carbone, par *A. Sauveur*.

Octobre 1898, p. 289. — La structure cristalline du fer et de l'acier, par *J. E. Stead*.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

CHAPITRE VII

CHAPITRE VIII

CHAPITRE IX

CHAPITRE X

CHAPITRE XI

CHAPITRE XII

CHAPITRE XIII

APPENDICE

ERRATA

Pages		Au lieu de	lire
25	ligne 20	Les impuretés sont *détruites*	neutralisées
46	lignes 9 et 17	classe des *bronzes* — ajouté au *bronze*	laitons, laiton
51	dernière ligne	des poids *mis en présence*	équivalents
63	lignes 20-21	composés *solubles*	fusibles
64	ligne 28	*Argile de Chine*	Kaolin
86	ligne 12	En partie *éliminés*	neutralisés
118	ligne 8	maintenir *l'état liquide*	la fluidité
152	ligne 14	*Alumine*	Argile
165	ligne 6	exempt *d'entaçures*	piqûres
171	lignes 15 et 16	66,6 *de cuivre* 33,3 *d'étain*	33,3 cuivre 66,6 étain
253	ligne 23	*les attiages*	d'alliages
254	ligne 24	*le métal* absorbé	l'oxygène
306-307	passim	*Hall-mark*	poinçon de garantie
		Hall marked	poinçonné
311	ligne 13	*Hauts-fourneaux*	Fours soufflés.

Imp. J. Thevenot. Saint-Dizier (Haute-Marne).

A LA MÊME LIBRAIRIE

BERTHELOT, membre de l'Institut, professeur au Collège de France, et **C.-E. RUELLE**, bibliothécaire de Sainte-Geneviève. — **Collection des alchimistes grecs.**

La publication comprend :

1° Une introduction avec notes scientifiques et nombreuses figures. Cette introduction est due à M. Berthelot. 2° La réimpression intégrale du plus ancien manuscrit alchimique connu, celui de Saint-Marc à Venise, avec nombreuses notes philologiques et scientifiques. Le texte grec et les notes philologiques sont dus à M. Ruelle, les notes scientifiques à M. Berthelot ; 3° La traduction française du manuscrit de Saint-Marc, due à M. Ruelle, revisée et commentée par M. Berthelot ; 4° Des tables très détaillées.

L'ensemble de la publication forme environ 1.200 pages in-4° carré sur le type des *Documents inédits* publiés par le Ministère de l'Instruction publique. Prix. . . . . 80 fr.

BERTHELOT. — **Introduction à l'étude de la chimie des anciens du moyen âge.** Avec figures. Prix . . . . 18 fr.

BERTHELOT (M.), professeur au Collège de France, membre de l'Institut. — **Les origines de l'alchimie.** In-8° cavalier.

Sur papier teinté avec lettres ornées, entêtes et culs-de-lampe, contenant un portrait de l'auteur à l'eau-forte, gravé par A. Boulard fils, et des reproductions en fac-simile de la Chrysopée de Cléopâtre et des signes alchimiques des métaux d'après un manuscrit de Saint-Marc, à Venise, du XIe siècle. Prix. . . . . 15 fr.

Il a été tiré 100 exemplaires sur papier de Hollande ; eau-forte sur papier du Japon. Prix. 20 fr.

BERTRAND DE FONTVIOLANT, ingénieur à la Compagnie de Fives-Lille, professeur à l'École centrale. — **Mémoire sur les déformations élastiques des pièces et des systèmes de pièces à fibres moyennes planes ou gauches** (théorie nouvelle et applications), avec planches. Prix. . . . . 6 fr.

BERTRAND DE FONTVIOLANT. — **Méthode générale de détermination des lignes d'influence dans les poutres pleines ou réticulaires assujetties à des conditions surabondantes.** Prix . . 1 fr. 50

BERTRAND DE FONTVIOLANT. — **Mémoire sur la statique graphique des arcs élastiques.** Prix. . . . . 2 fr.

KNAB (Louis), répétiteur du cours de métallurgie à l'École centrale. — **Fabrication et emplois industriels de l'acier**, 1 vol. in-8° raisin de 760 pages, avec 76 figures. Prix. 18 fr.

KNAB. — **Traité de métallurgie des métaux autres que le fer** (cuivre, plomb, argent, or, platine, mercure, zinc, cadmium, étain, arsenic, antimoine, bismuth, nickel, cobalt, aluminium), 1 vol. in-8° raisin avec 164 figures. Prix . . . . 18 fr.

KNAB. — **Traité des alliages et des dépôts métallurgiques.** In-8° de 825 pages, avec 187 figures dans le texte. Prix. . . . . 20 fr.

MOISSAN, membre de l'Institut. — **Le four électrique.** 1 volume in-8° de VIII-386 pages, avec 42 figures. Prix . . . . 15 fr.

MOISSAN. — **Série du cyanogène.** 1 vol. in-8°. Prix. . . . . . 4 fr.

REY. — **Nouvelles formules pour le calcul des pièces soumises à des efforts de flexion ou de torsion.** Prix. . . . . 1 fr.

REY et VALLOT. — **Établissement des ressorts à lames employés dans les chemins de fer.** Avec planches. Prix. . . . . 3 fr.

VALLOT, ingénieur des Arts et Manufactures. — **Du mouvement de l'eau dans les tuyaux circulaires.** — Théorie de MAURICE LÉVY. — Table pour **le calcul des conduites.** Prix . . . . 2 fr. 50

Imp. J. Thevenot. Saint-Dizier (Haute-Marne).

